

625.1  
PK1  
e e



**KAJIAN LABORATORIUM PENGARUH  
PENGUNAAN PASIR BESI SEBAGAI AGREGAT  
HALUS PADA CAMPURAN ASPAL PANAS  
HRA (*Hot Rolled Asphalt*) TERHADAP SIFAT MARSHALL  
DAN DURABILITAS**

**TESIS**

*Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan  
Program Magister Teknik Sipil*

*Disusun Oleh*

Anang Priambodo

L.4A.001026

**PROGRAM PASCA SARJANA  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG**

**2003**



**KAJIAN LABORATORIUM PENGARUH  
PENGUNAAN PASIR BESI SEBAGAI AGREGAT  
HALUS PADA CAMPURAN ASPAL PANAS  
HRA (*Hot Rolled Asphalt*) TERHADAP SIFAT *MARSHALL*  
DAN DURABILITAS**

**TESIS**

*Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan*

*Program Magister Teknik Sipil*

*Disusun Oleh*

Anang Priambodo

L.4A.001026

**PROGRAM PASCA SARJANA**

**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**SEMARANG**

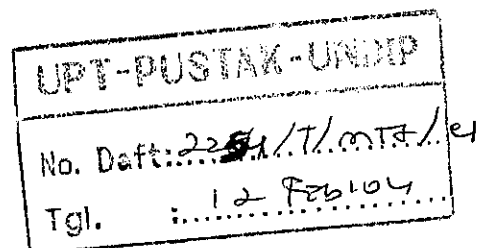
**2003**

**KAJIAN LABORATORIUM PENGARUH PENGGUNAAN  
PASIR BESI SEBAGAI AGREGAT HALUS  
PADA CAMPURAN ASPAL PANAS HRA (*Hot Rolled Asphalt*) TERHADAP  
SIFAT *MARSHALL* DAN DURABILITAS**

**TESIS**

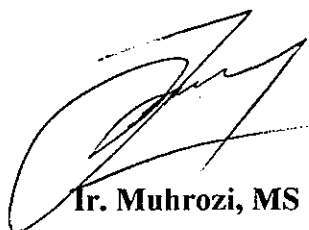
*Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan  
Program Magister Teknik Sipil*

*Disusun Oleh*  
**Anang Priambodo**  
L.4A.001026




Disetujui untuk Dipresentasikan

Pembimbing I

  
**Ir. Muhrozi, MS**

Pembimbing II

  
**Drs. Bagus Priyatno, ST, MT**


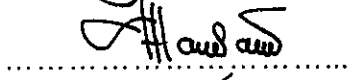

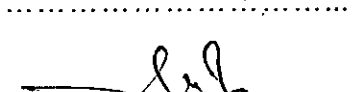
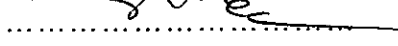
**KAJIAN LABORATORIUM PENGARUH PENGGUNAAN  
PASIR BESI SEBAGAI AGREGAT HALUS PADA  
CAMPURAN ASPAL PANAS HRA (*Hot Rolled Asphalt*).  
TERHADAP SIFAT *MARSHALL* DAN DURABILITAS**

*Disusun Oleh*


**Anang Priambodo**  
NIM L4A.001026

Dipertahankan di depan Tim Penguji pada tanggal  
8 September 2003

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk  
memperoleh gelar Magister Teknik Sipil

- |               |                                  |  |
|---------------|----------------------------------|--|
| 1. Ketua      | : Ir. Muhrozi, MS                |   |
| 2. Sekertaris | : Drs. Bagus Priyatno, ST, MT    |  |
| 3. Anggota 1  | : Dr. Ir. Sri Prabandiyani, M.Sc |  |
| 4. Anggota 2  | : Bagus Hario Setiadji, ST, MT   |  |
| 5. Anggota 3  | : Ir. Bambang Hariyadi, M. Sc    |  |

Semarang, 8 September 2003

Universitas Diponegoro  
Program Pascasarjana  
Magister Teknik Sipil  
Ketua,  
  
**Dr. Ir. Suripin, M. Eng**  
NIP.131.668.511



Dipersembahkan untuk  
Bapak dan ibuku tercinta  
Dan adik-adikku

## ABSTRAKSI

### KAJIAN LABORATORIUM PENGARUH PENGGUNAAN PASIR BESI SEBAGAI AGREGAT HALUS PADA CAMPURAN ASPAL PANAS HRA (*Hot Rolled Asphalt*) TERHADAP SIFAT *MARSHALL* DAN DURABILITAS.

Keberadaan pasir besi sebagai bahan tambang, dapat dijumpai di beberapa wilayah di Indonesia antara lain, di pesisir selatan pulau Jawa serta di beberapa daerah di pulau Kalimantan, Sulawesi dan Papua, yang selama ini hanya digunakan sebagai bahan utama industri produksi semen dan sebagian untuk industri pengolahan logam. Peranan pasir besi dalam proses produksi semen adalah sebagai pengatur suhu saat terbentuknya klinker semen, (Kardiyono, 1996).

Deposit pasir besi yang sangat besar di wilayah Kutoarjo Kabupaten Purworejo, Jawa Tengah sampai saat ini belum banyak dimanfaatkan untuk campuran aspal. Maka perlu kiranya diusahakan pemanfaatan bahan alternatif pasir besi sebagai material campuran aspal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh karakteristik dari pasir besi sebagai agregat halus dalam campuran aspal panas HRA, terhadap karakteristik sifat-sifat *Marshall* seperti stabilitas, *flow*, *VIM* (*Void In the Mix*), *VFB* (*Void Fill with Bitumen*), *VMA* (*Void Mix Aggregate*), *Marshall Quotient*, sifat durabilitas campuran, serta seberapa besar batasan pengaruh penambahan pasir besi dalam campuran aspal.

Pengujian-pengujian terhadap pasir besi telah dilaksanakan untuk mengevaluasi sifat-sifat yang berkaitan dengan kinerjanya sebagai agregat halus dalam campuran aspal panas HRA. Pada penelitian ini, campuran aspal dirancang dengan metode *marshall* dan sejumlah variasi agregat halus ditambahkan pada campuran pasir besi pada kondisi kadar aspal optimum untuk kemudian dievaluasi ketahanannya terhadap pengaruh lama perendaman pada suhu  $\pm 60^{\circ}\text{C}$ . Sebagai pembandingan, penelitian yang sama dilakukan terhadap campuran dengan agregat halus pasir kali asal Muntilan.

Sifat-sifat agregat halus pasir besi pada umumnya memenuhi persyaratan agregat untuk digunakan dalam campuran aspal, seperti ditunjukkan dalam hasil uji berat jenis maupun uji *sand equivalent*. Berat jenis pasir besi ternyata lebih berat dan nilai *sand equivalent* yang lebih tinggi dari pada pasir kali asal Muntilan.

Kinerja campuran dengan agregat halus pasir besi, ternyata mempunyai nilai kestabilan yang lebih rendah dari campuran dengan agregat halus pasir kali. Hal ini disebabkan antara lain adanya kesenjangan pada distribusi partikel agregat halus pada ukuran lolos 2,36 mm dan tertahan 0,6 mm, sehingga kebutuhan akan aspal untuk mengisi rongga yang terjadi menjadi semakin besar dan menimbulkan media gelincir dalam campuran. Hal ini dapat dilihat pada kebutuhan akan kadar aspal optimum pada campuran pasir kali 5,786 %, sedangkan kebutuhan pada campuran dengan agregat halus pasir besi adalah sebesar 6,83 %. Selain itu nilai *flow* pada campuran aspal dengan agregat halus pasir besi, justru lebih rendah dari pada campuran aspal dengan agregat halus pasir kali, yang disebabkan peyerapan aspal oleh agregat halus pasir besi, lebih besar dari pada penyerapan pasir kali. Hal ini ditunjukkan oleh nilai penyerapan pasir besi sebesar 2,146 dan penyerapan pasir kali sebesar 1,01 %.

Penambahan variasi agregat halus pada campuran pasir besi ternyata memberikan pengaruh Indeks Penurunan Stabilitas, dimulai berturut-turut dari variasi 0,5%; -

0.5%; 1% dan -1%. Indeks Penurunan Stabilitas untuk variasi penambahan agregat halus 0 %, 1 % dan -1 % ternyata nilainya tidak terlalu banyak berbeda, namun pada variasi 0,5 % dan variasi -0,5 % Indeks Penurunan Stabilitas cenderung berbeda sangat tinggi, hal ini mungkin disebabkan oleh interval variasi yang terlalu rendah dengan rentang yang terlalu kecil.

Dari hasil penelitian ini serta dengan melihat batasan-batasan parameter Marshall menurut SNI, menunjukkan bahwa agregat halus pasir besi dapat digunakan sebagai bahan alternatif agregat halus didalam campuran aspal, khususnya jenis campuran HRA pada lapisan *wearing course*.

## ABSTRACTION

### THE INFLUENCE OF THE IRON SAND USAGE AS A FINE AGGREGATE AT HOT MIXTURE OF ASPHALT HRA (Hot Rolled Asphalt) TO THE CHARACTERISTIC OF MARSHALL AND DURABILITY

*Iron Sand as a mine materials, that can be found in several region of Indonesia, for example, in South Coast of Java, and also in some area in Kalimantan, Sulawesi and Papua, is so far only used as the materials in cement industry production and partly for the process on metal industry. The role of Iron Sand in cement process production is controlling temperature during the formation cement clinker, (Kardiyono, 1996).*

*Kutoarjo Purworejo Regency of Central Java, has Iron Sand deposit in large amount, and so far exploited it is not properly yet for the mixture of asphalt. The aims of this research are to know the influence characteristics of influence of Iron Sand as fine aggregate in hot asphalt mixture of HRA, towards the characteristic Marshall as stability, flow, VIM (Void In the Mix), VFB (Void Fill with Bitumen), VMA (Void Mineral Aggregate), Marshall Quotient, durability of mixture and also how big is the addition of Iron Sand influence in asphalt mixture.*

*Examinations of the Iron Sand have been conducted to evaluate its characteristics related to its performance as a fine aggregate in hot asphalt mixture of HRA. In this research, asphalt mixture was designed using Marshall Method and a number of fine aggregate variations were added to Iron Sand mixture in the optimum condition of asphalt which then evaluated the durability to the length of immersion time at temperature  $\pm 60$  °C. As comparison, the same research of asphalt mixture with Iron Sand from Muntilan with was done.*

*The characteristics of iron sand generally fulfill the requirement of fine aggregate to be used in asphalt mixture. As shown at the result of specific gravity and sand equivalent test. The specific gravity test of iron sand is heavier than river sand from Muntilan and equivalent sand value of iron sand is higher than river sand from Muntilan.*

*Asphalt mixture performance using Iron Sand as the fine aggregate, in fact has lower stability value mixture than those using river sand as fine aggregate. This is caused by the imbalance of fine aggregate particle distribution at get away sieve test size 2,36 mm and hold by sieve test size 0,6 mm, so that the amount of asphalt needed to fill the cavity that happened become greater and can cause media striping. It can be seen from the need of asphalt optimum degree on the mixture of asphalt with river sand as a fine aggregate which was 5,786 %, while the need of the mixture of asphalt with Iron Sand as a fine aggregate was about 6,83 %.*

*On the other hand, the flow value of asphalt mixture with iron sand as a fine aggregate was lower than those with river sand as a fine aggregate. That was caused by the asphalt absorption of iron sand as fine aggregate was higher than absorption the river sand value as fine aggregate. It showed by the value of iron sand absorption in the amount of 2,146 % and absorption the value of river sand was 1,01 %.*

*The Addition of fine aggregate variation to Iron Sand mixture apparently gives influences the stability degradation index, started successively from variation of*



0,5%; -0,5%; 1% and -1%. Stability degradation index of asphalt mixture with differing added variation of fine aggregate which are 0 %, 1 % and -1 %, is not so different, But on the variation of 0,5 % and -0,5 %, its difference is too high. This is probably caused by the low and small range of variation.

From the result of this research and seen from the parameter boundaries of Marshall according to SNI, it indicates that iron sand can be used as an alternative materials of fine aggregate in asphalt mixture, especially mixture type of HRA in wearing course

## KATA PENGANTAR

Puji syukur, Penulis panjatkan tiada terhingga ke hadirat Allah SWT, dengan segala rahmat dan karunia-Nya, Penulis dapat menyelesaikan tesis ini, serta tak lupa pula Penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pembimbing Drs. Bagus Priyatno, ST.MT dan Ir Muhrozi, MS. Atas bimbingan, saran, nasihat, petunjuk selama penelitian dan penyusunan tesis ini.

Penghargaan dan terima kasih juga Penulis sampaikan kepada staf akademik Program Magister Teknik Sipil, Program Pascasarjana Universitas Diponegoro atas segala dorongan dan kemudahan administrasi selama penulis belajar pada program ini.

Penghargaan yang sebesar-besarnya kepada Ir. Yunarso B.X. MT selaku kepala kantor PT. Aneka Tambang Cabang Kutoarjo, serta Bapak Aswad yang telah memberikan bantuan kemudahan untuk mendapatkan material pasir besi serta dorongan semangat dan nasihat-nasihat yang sangat berharga.

Ucapan terima kasih yang tak henti-hentinya penulis haturkan kepada Bapak dan Ibu atas dorongan semangat yang tak henti-hentinya dan nasihat-nasihat untuk selalu sabar selama dalam proses penelitian ini serta kesempatan menempuh pendidikan yang luar biasa ini sehingga Penulis dapat mengikuti program ini hingga selesai.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada teman-teman Program Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro Angkatan 2001 atas kebersamaan selama ini. Akhirnya Penulis berharap, semoga tesis ini dapat menjadi sumbangan pemikiran dan bermanfaat bagi rekan-rekan pembaca.

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERSEMBAHAN	ii
ABSTRAKSI	iii
ABSTRACTION	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR SINGKATAN	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii

### BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	2
1.3. Manfaat Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Hipotesis	4
1.6. Sistematika Penulisan	5

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum	6
2.2. Agregat	6
2.2.1. Agregat Kasar	10
2.2.2. Agregat Halus	11
2.2.3. Pasir Besi	11
2.2.4. Bahan Pengisi ( <i>Filler</i> )	13
2.3. Aspal	14
2.4. <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i>	16
2.5. Perencanaan Campuran Beraspal	17
2.6. Metode Pengujian <i>Marshall</i>	18
2.7. Hasil Penelitian Yang Relevan	19

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode dan Desain	21
3.2. Bahan Penelitian	22
3.3. Peralatan Penelitian	23
3.4. Dasar Perhitungan	24
3.4.1. Berat Jenis <i>Bulk</i> dan <i>Apparent Total</i> Agregat	24
3.4.2. Berat Jenis <i>Efektif Total</i> Agregat	25
3.4.3. Stabilitas dan <i>Flow</i>	25
3.4.4. Volume Campuran dan Berat Jenis Campuran Setelah Pemadatan	26
3.4.5. Penyerapan Aspal	26
3.4.6. Kadar Aspal Efektif	27

3.4.7. Rongga Udara (Air Void)	27
3.4.8. <i>Marshall Quotient</i> dan Indeks Stabilitas Sisa	28
3.4.9. Nilai Durabilitas dan <i>Dust Proportion</i>	29
3.5. Prosedur Pengujian Material	29
3.6. Perencanaan dan Pembuatan Benda Uji	31
3.7. Pengujian <i>Marshall</i>	35
3.8. Pengujian Durabilitas	36
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Perencanaan Gradasi Agregat	37
4.2. Hasil Pengujian Material Agregat	39
4.3. Hasil Pengujian Aspal	41
4.4. Hasil Analisa <i>Marshall</i>	43
4.4.1. Analisa Stabilitas dan <i>Flow</i>	46
4.4.2. Analisa Rongga Udara (Air Void)	47
4.4.3. Analisa <i>Marshall Quotient</i> (MQ)	49
4.4.4. Analisa Kepadatan Campuran (Gmb)	50
4.4.5. Analisa Penyerapan Aspal dan Kadar Aspal Efektif	50
4.4.6. Analisa Indeks Kekuatan Sisa	51
4.4.7. Analisa Kadar Aspal Optimum	52
4.5. Pengujian Durabilitas	53
4.5.1. Pengaruh Terhadap Stabilitas	54
4.5.2. Pengaruh Terhadap <i>Flow</i>	56
4.5.3. Pengaruh Terhadap Nilai <i>Marshall Quotient</i>	57
4.5.4. Pengaruh Terhadap Indeks Penurunan Stabilitas	58
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	61
5.2. Saran	62
 DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN A. Hasil Pengujian Material	66
LAMPIRAN B. Rencana Susunan Material Dalam Campuran	83
LAMPIRAN C. Hasil Perhitungan <i>Marshall Test</i>	91
LAMPIRAN D. Hasil Perhitungan <i>Marshall Test</i> (aspal Optimum)	105
LAMPIRAN E. Hasil Perhitungan Durabilitas Campuran	111
LAMPIRAN F. Dokumentasi	116

## DAFTAR TABEL

2.1. Penetrasi aspal untuk berbagai kondisi iklim .....	15
3.1. Spesifikasi pengujian bahan agregat kasar .....	30
3.2. Spesifikasi pengujian bahan agregat halus dan <i>filler</i> .....	30
3.3. Persyaratan untuk aspal .....	30
3.4. Gradasi HRA tipe F (BS 594:1992) .....	31
3.5. Rencana berat aspal terhadap total agregat .....	32
3.6. Spesifikasi beberapa campuran beraspal .....	34
3.7. Jumlah sampel yang direncanakan .....	35
4.1. Sifat agregat kasar .....	39
4.2. Sifat agregat halus dan <i>filler</i> .....	40
4.3. Persyaratan dan hasil pemeriksaan aspal Pertamina 60/70 .....	41
4.4. Nilai rata-rata karakteristik <i>Marshall</i> pada campuran aspal dengan agregat halus pasir kali .....	44
4.5. Nilai rata-rata karakteristik <i>Marshall</i> pada campuran aspal dengan agregat halus pasir besi .....	44
4.6. Kadar aspal efektif masing-masing campuran .....	51
4.7. Nilai Indeks Stabilitas Sisa campuran aspal .....	51
4.8. Durabilitas campuran aspal dengan agregat halus pasir besi .....	53
4.9. Durabilitas campuran aspal dengan agregat halus pasir kali .....	54

## DAFTAR GAMBAR

1.1	Wilayah tambang pasir besi di pesisir selatan pulau Jawa .....	2
2.1	Daerah operasi penambangan pasir besi Kutoarjo .....	12
2.2	Mineral penyusun pasir besi .....	13
3.1	Diagram alir kegiatan .....	21
4.1	Target gradasi berdasarkan kurva kepadatan <i>fuller</i> dan 0,45 power .....	37
4.2	Gradasi agregat untuk agregat halus pasir kali .....	38
4.3	Gradasi agregat untuk agregat halus pasir besi .....	38
4.4	Perbandingan hasil uji <i>Marshall</i> untuk campuran aspal dengan agregat halus pasir kali dan campuran aspal dengan agregat halus pasir besi .....	45
4.5	Grafik kadar aspal optimum campuran aspal dengan agregat halus pasir kali .....	52
4.6	Grafik kadar aspal optimum campuran aspal dengan agregat halus pasir besi .....	52
4.7	Graifik hubungan stabilitas terhadap lama perendaman .....	55
4.8	Grafik hubungan <i>flow</i> terhadap lama perendaman .....	56
4.9	Grafik pengaruh lama perendaman terhadap nilai <i>Marshall Quotient</i> .....	57
4.10	Grafik pengaruh lama perendaman terhadap penurunan stabilitas campuran .....	58
4.11	Grafik hubungan variasi agregat halus terhadap Indeks Penurunan Stabilitas (kg) pada campuran aspal dengan agregat halus pasir besi .....	59

## DAFTAR SINGKATAN

AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
AC	: Asphalt Concrete
AMP	: Agregat Mix Plant
ASTM	: American Society for Testing Material
BUMN	: Badan Usaha Milik Negara
BS	: British Standart
BSI	: British Standar Institution
C	: Celcius
Cm	: Centimeter
CQCMU	: Central Quality Control and Monitoring Unit
DPU	: Departemen Pekerjaan Umum
Fe	: Ferrum
HRA	: Hot Rolled Asphalt
Lbf	: Pound force
MQ	: Marshall Quotient
Puslitbang	: Pusat Penelitian Bangunan
SNI	: Standar Nasional Indonesia
SSD	: Saturated Surface Dry
VIM	: Void In the Mix
VMA	: Void in the Mineral Agregate
VFB	: Void Fill with Bitumen
WMT	: Weight Metric Tons

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A. Hasil Pengujian Material .....	66
LAMPIRAN B. Rencana Susunan Material Dalam Campuran .....	83
LAMPIRAN C. Hasil Perhitungan <i>Marshall Test</i> .....	91
LAMPIRAN D. Hasil Perhitungan <i>Marshall Test</i> (aspal Optimum) .....	105
LAMPIRAN E. Hasil Perhitungan Durabilitas Campuran .....	111
LAMPIRAN F. Dokumentasi .....	116



## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

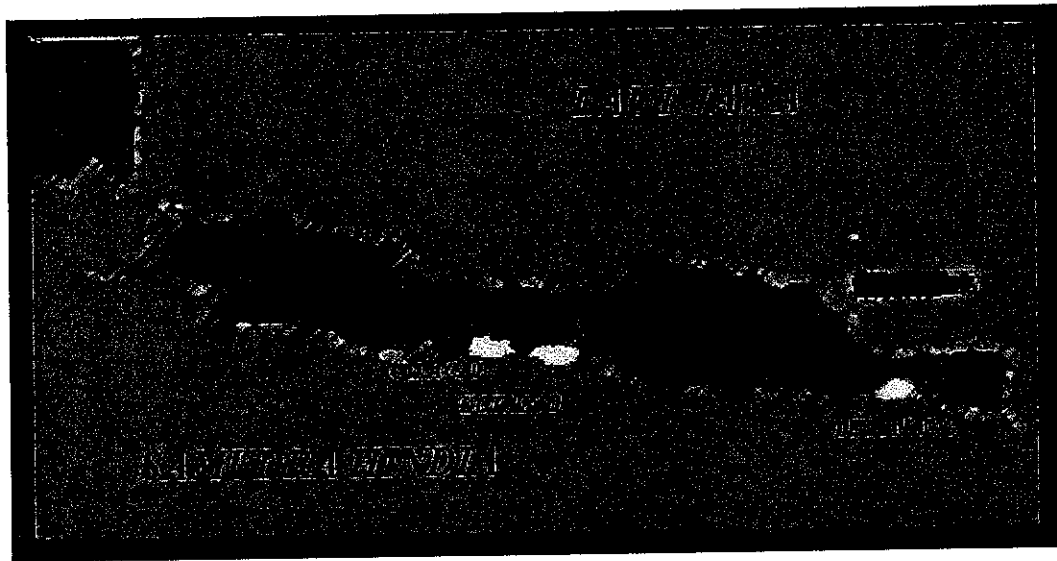
#### **1.1. Latar Belakang**

Sejak dahulu kala, kita menyadari bahwa pertumbuhan ekonomi suatu wilayah sangat dipengaruhi oleh ketersediaan akan adanya sarana dan pelayanan transportasi. Ada tiga alasan yang berbeda yang melatarbelakangi pembangunan suatu jalan. Alasan pertama adalah tercapainya suatu perkembangan ekonomi dan sosial pada wilayah yang didukung sarana dan prasarana transportasi yang baik. Yang kedua, di alam sendiri banyak tersedia bahan material untuk membuat konstruksi jalan. Yang ketiga, didasari perbedaan iklim, teritorial, yang menyebabkan kebutuhan antar daerah berbeda satu dengan yang lainnya. Sehingga atas dasar inilah, manusia berusaha melakukan hubungan dengan daerah-daerah lainnya agar dapat saling menutupi kekurangan yang ada dengan saling menukar barang dan jasa untuk memenuhi kebutuhannya.

Dalam upaya meningkatkan kekuatan struktur perkerasan jalan, pemilihan jenis material yang digunakan sangat berperan, sehingga perlu adanya suatu upaya penelitian dengan memanfaatkan material-material berkualitas, khususnya yang banyak terdapat di daerah setempat, sekaligus menghemat biaya konstruksi. Dalam pemilihan bahan material yang digunakan sebagai bahan campuran aspal, tidak dibatasi dari mana sumber material tersebut diperoleh selama bahan tersebut memenuhi persyaratan dalam pengujian material dan tentunya didalam pemilihan material juga perlu diperhatikan faktor-faktor lainya seperti, jumlah bahan yang tersedia di lokasi setempat, jarak angkut yang pantas, bahan tersebut tidak bersifat *toxic* atau beracun serta tentunya bahan tersebut tidak larut dalam air.

Pasir besi sebagai bahan tambang memberikan suatu peluang alternatif dalam penggunaannya sebagai material penyusun campuran aspal. Keberadaan pasir besi sebagai bahan tambang yang banyak dijumpai di wilayah Indonesia antara lain, di pesisir Selatan Pulau Jawa serta di beberapa daerah di Pulau Kalimantan, Sulawesi dan Papua, yang selama ini hanya digunakan sebagai bahan utama industri produksi semen dan sebagian untuk industri pengolahan logam. Hal ini disebabkan kebutuhan

terbesar akan pasir besi adalah dari pabrik semen. Peranan pasir besi dalam proses produksi semen adalah sebagai pengatur suhu saat terbentuknya klinker semen, (Kardiyono Tjokrodinuljo, 1996). Di pesisir Selatan Pulau Jawa sendiri, daerah yang paling banyak menghasilkan pasir besi adalah di daerah Cilacap, Yogyakarta, Kutoarjo dan Lumajang, seperti yang terlihat pada Gambar 1.1. dibawah ini.



Sumber: WWW.ANTAM.COM, (2001)

**Gambar 1.1.** Wilayah tambang pasir besi di pesisir Selatan Pulau Jawa

Beberapa wilayah penambangan pasir besi di Pulau Jawa, seperti wilayah penambangan pasir besi Cilacap memiliki kandungan Besi (Fe) tertinggi diantara wilayah penambangan yang lain yaitu sekitar 60 %, sehingga eksplorasi yang paling banyak dilakukan adalah di wilayah penambangan Cilacap. Beberapa wilayah penambangan pasir besi yang masih aktif sampai saat ini adalah wilayah penambangan Cilacap dan wilayah penambangan Kutoarjo sedangkan beberapa wilayah lainnya seperti Yogyakarta dan Lumajang sudah tidak aktif lagi.

## **1.2. Tujuan Penelitian**

Atas dasar latar belakang tersebut diatas, memberikan suatu ide untuk meneliti pengaruh penggunaan pasir besi dalam campuran aspal. Pada penelitian ini, pasir besi yang digunakan berperan sebagai agregat halus dalam menggantikan pasir kali yang biasa digunakan selama ini dalam campuran aspal panas HRA (*Hot Rolled*

*Asphalt*), khususnya sebagai perkerasan lapisan permukaan jalan (*wearing course*), oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini antara lain adalah:

1. Membandingkan pengaruh penggunaan pasir besi terhadap pasir kali sebagai agregat halus dalam campuran aspal panas *HRA*, dilihat dari karakteristik sifat-sifat *Marshall* seperti stabilitas, *flow*, *VIM* (*Void In the Mix*), *VFB* (*Void Fill with Bitumen*), *VMA* (*Void Mix Aggregate*), *Marshall Quotient*, sifat durabilitas campuran.
2. Seberapa besar pengaruh penambahan variasi agregat halus pasir besi dalam campuran aspal panas terhadap karakteristik sifat *Marshall* dan durabilitas campuran.

### **1.3. Manfaat Penelitian**

Dengan adanya kajian ini, diharapkan bisa memberikan pemahaman dan menambah wawasan mengenai pengaruh penggunaan pasir besi sebagai bahan alternatif agregat halus dalam campuran aspal panas *Hot Rolled Asphalt (HRA)*, khususnya sebagai lapisan *wearing course* ditinjau terhadap sifat *Marshall* (stabilitas, *flow*, *VIM*, *VFB*, *VMA*, *Marshall Quotient*) dan sifat durabilitas campuran.

### **1.4. Batasan Masalah**

Pada penelitian ini bahan material yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Agregat kasar, berasal dari Singorejo Gunungpati Semarang dan diperoleh dari hasil pemecahan batu (*stone crusher*) dari AMP PT. Muhandas Sarana Semarang.
2. Begitu pula untuk agregat pengisi (*filler*) yang digunakan adalah abu batu dari hasil pemecahan batu (*stone crusher*) dari AMP PT. Muhandas Sarana Semarang.
3. Agregat halus (pasir kali) menggunakan pasir kali asal Muntilan,
4. Pasir besi yang digunakan, berasal dari wilayah penambangan Kutoarjo yang diperoleh dari PT. Aneka Tambang Cabang Kutoarjo, Kabupaten Purworejo Jawa Tengah.
5. Untuk bahan aspal menggunakan aspal PERTAMINA dengan penetrasi 60/70

6. Gradasi campuran *HRA* yang digunakan berdasarkan pada *BS. 594: 1992*, nomor kolom 3/4, metode perencanaan campuran (*Mix design*) tipe F.
7. Untuk pengujian durabilitas, air tawar yang digunakan sebagai media rendaman menggunakan air tawar dari laboratorium ATS (Akademi Teknologi Semarang) di Semarang.

Sedangkan ruang lingkup kegiatan penelitian yang akan dilakukan adalah:

1. Menyelidiki adakah pengaruh penggunaan agregat halus pasir besi terhadap sifat karakteristik campuran aspal panas *HRA* dan adakah perbedaannya jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan agregat halus pasir kali lokal.
2. Pengujian laboratorium yang dilakukan adalah pengujian *Marshall* dan pengujian durabilitas.
3. Perendaman untuk pengujian durabilitas dilakukan pada jenis sampel *soaked* dilakukan pada selang waktu 30 menit, 3 jam, 9 jam, 24 jam, 48 jam dengan suhu 60°C.
4. Variasi penambahan pasir besi dilakukan pada batas atas +1%, +0,5% dan batas bawah -0,5; -1%, penambahan variasi dilakukan pada kondisi kadar aspal optimum.
5. Penelitian yang dilakukan terbatas pada pengujian laboratorium dan tidak melakukan pengujian lapangan.
6. Reaksi kimia yang terjadi pada campuran tidak dibahas.
7. Pada penelitian ini, tidak membahas aspek ekonomi yang ditimbulkan.

### 1.5. Hipotesis

Dari penelitian ini, diharapkan campuran aspal panas *Hot Rolled Asphalt (HRA)* yang menggunakan pasir besi sebagai agregat halus, akan memiliki sifat perkerasan yang lebih baik jika dibandingkan dengan campuran aspal panas yang menggunakan agregat halus pasir kali, dalam batas pengaruhnya terhadap sifat-sifat *Marshall* seperti stabilitas, *flow*, *VIM (Void In the Mix)*, *VFB (Void Fill with Bitumen)*, *VMA (Void in Mineral Aggregate)*, *Marshall Quotient* dan diharapkan Indeks Kekuatan Sisa (IKS) yang terjadi, lebih baik jika dibandingkan dengan campuran aspal dengan agregat halus pasir kali

Variasi penambahan pasir besi dalam campuran aspal, akan menurunkan nilai Indeks Penurunan Stabilitas (IPS) dalam campuran aspal. atau dengan kata lain penambahan ataupun pengurangan agregat halus pasir besi yang tinggi, akan menyebabkan campuran aspal menjadi menurun nilai durabilitasnya.

#### **1.6. Sistematika Penulisan**

Pada penelitian ini, penulisan dilakukan dengan sistematika sebagai berikut:

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Mengemukakan tentang informasi secara keseluruhan dari penelitian ini yang berkenaan dengan latar belakang masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, hipotesis dan sistematika penulisan.

#### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Berisi tentang teori-teori yang dijadikan dasar dalam pembahasan dan penganalisaan masalah, serta beberapa definisi dari studi literatur yang berhubungan dalam penulisan ini.

#### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bagian ini berisi uraian tentang metode, bahan, peralatan, dasar perhitungan yang digunakan serta cara pengujian yang dilakukan didalam penelitian ini.

#### **BAB IV HASIL PEMBAHASAN**

Menyajikan data yang diperoleh dari hasil pengumpulan yang diperoleh dari hasil perhitungan dan pengujian dalam penelitian ini. Selanjutnya data tersebut kemudian diolah dan dianalisa sehingga akan menghasilkan informasi yang berguna.

#### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Dalam bab ini dikemukakan tentang kesimpulan hasil penelitian dan saran-saran dari peneliti berdasarkan analisis yang dilakukan pada bab sebelumnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Umum

Campuran beraspal adalah campuran yang tersusun atas agregat, *filler* dan aspal sebagai bahan pengikatnya. Pada umumnya digunakan dalam konstruksi perkerasan lentur maupun perkerasan jenis komposit (beton beraspal). Kestabilan suatu perkerasan jalan, sangat dipengaruhi antara lain oleh jenis bahan, keadaan fisik bahan serta kualitas bahan penyusun perkerasan jalan itu sendiri. Oleh karena itu, bahan perkerasan yang akan digunakan dalam campuran aspal, terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan di laboratorium dengan harapan, kekuatan dari struktur perkerasan tersebut memenuhi persyaratan yang ditentukan.

#### 2.2. Agregat

Agregat diartikan sebagai suatu kumpulan butiran batuan yang berukuran tertentu yang diperoleh dari hasil alam langsung maupun dari pemecahan batu besar ataupun agregat yang sengaja dibuat untuk tujuan tertentu. Seringkali agregat diartikan pula sebagai suatu bahan yang bersifat keras dan kaku yang digunakan sebagai bahan pengisi suatu campuran. Agregat dapat berupa berbagai jenis butiran atau pecahan batuan, termasuk di dalamnya antara lain, pasir, kerikil, agregat pecah, terak dapur tinggi, abu/debu agregat, dan lain-lain.

Agregat merupakan bahan pengisi dominan dalam suatu campuran aspal. Prosentase agregat dalam suatu campuran berkisar antara 75-85 % dari volume total atau 90-95 % dari berat total (Silvia Sukirman, 1995). Oleh karenanya sebagai lapisan *wearing course* atau lapisan permukaan, mutu dan kualitas agregat yang akan digunakan harus lebih baik dari pada lapisan perkerasan dibawahnya. Hal ini disebabkan, lapisan permukaan (*wearing course*) menerima repetisi beban secara langsung sebagai akibat beban lalu-lintas dan pengaruh lingkungan serta menerima beban lebih besar jika dibandingkan lapisan dibawahnya, oleh karena itu suatu pengujian awal terhadap material yang akan digunakan sangat penting artinya dalam perencanaan konstruksi perkerasan suatu jalan.

Menurut sumbernya atau cara mempersiapkannya, agregat dibagi atas tiga jenis, yaitu:

1. Agregat Alam (*Natural Agregate*)

Agregat jenis ini, biasa diperoleh langsung di alam dan dapat langsung digunakan sebagai bahan lapis perkerasan jalan. Jenis agregat alam yang biasa digunakan misalnya kerikil (*gravel*) dan *sand* (pasir kali ataupun pasir besi).

2. Agregat Hasil Pengolahan (*Manufactured Agregate*)

Agregat jenis ini merupakan hasil pengolahan dengan mesin pemecah batu (*stone crusher*). Diharapkan dari hasil pengolahan ini, ukuran agregat yang dihasilkan sesuai dengan gradasi yang diinginkan, serta mempunyai tekstur yang kasar dengan bentuk agregat bersudut (*angular*).

3. Agregat Buatan (*Synthetic Agregate*)

Agregat buatan merupakan agregat hasil perekayasaan yang dibuat khusus untuk tujuan tertentu. Agregat jenis ini, juga bisa diperoleh dari hasil sampingan industri tertentu seperti pabrik baja yang menghasilkan limbah logam (*slag*).

Sifat-sifat agregat yang sangat mempengaruhi kekuatan dan kualitas suatu campuran aspal diantaranya adalah:

1. Ukuran dan Gradasi Agregat (*Size and Grading*)

Gradasi atau distribusi partikel-partikel berdasarkan ukuran agregat sangat berpengaruh pada besarnya rongga antar butiran yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses pelaksanaannya. Tujuan dalam pelaksanaan ukuran dan gradasi agregat antara lain:

- Ukuran agregat sangat terkait dengan pelaksanaan tebal penyebaran/penghamparan yang dilakukan serta tebalnya pemadatan.
- Gradasi sangat terkait dalam pelaksanaan pemadatan antara lain, kestabilan lapisan, kecepatan/waktu pemadatan.

Ukuran suatu agregat mempunyai pengaruh terhadap gesekan antar partikel, namun yang perlu diperhatikan bahwa ukuran maksimal bantuan didalam campuran harus lebih kecil atau sama dengan 75 % tebal perkerasan. Ukuran

maksimum batuan yang terlalu besar menyebabkan kepadatan sulit dicapai (CQCMU, 1998). Gradasi agregat sendiri dibagi atas 3 jenis yaitu:

a) Gradasi seragam (*Uniform graded*)

Gradasi seragam adalah distribusi agregat dengan ukuran yang hampir sama dengan kandungan agregat halus yang sedikit jumlahnya sehingga tidak dapat mengisi rongga antar agregat. Gradasi ini disebut juga sebagai gradasi terbuka, yang mempunyai sifat antara lain, permeabilitas yang tinggi, stabilitas kurang.

b) Gradasi rapat. (*Dense graded*)

Gradasi ini merupakan campuran agregat kasar dan halus dalam porsi yang seimbang, dimana agregat halus berperan dalam mengisi rongga antar agregat kasar, sehingga gradasi ini mempunyai sifat impermeabilitas dan stabilitas yang tinggi. Suatu gradasi rapat agregat yang baik, adalah jika persen yang lolos setiap saringan memenuhi persamaan *fuller* yaitu:

$$P = 100(d / D)^{0,5}$$

Keterangan:

P = total prosentase yang lolos saringan yang dimaksud

d = ukuran saringan yang dimaksud

D = ukuran terbesar saringan pada gradasi yang digunakan.

Kurva *fuller* adalah kurva gradasi dimana kondisi campuran memiliki kepadatan maksimum dengan rongga diantara mineral agregat (VMA) yang minimum (Bagus Priyatno, 2001)

c) Gradasi buruk (*Poorly graded*)

Gradasi ini merupakan campuran agregat dengan satu atau lebih ukuran tertentu dihilangkan untuk menampung aspal lebih banyak dibandingkan campuran yang menggunakan tipe gradasi lainnya. Jenis gradasi ini sering disebut sebagai gradasi senjang (*gap graded*) yang bersifat lebih fleksibel/ lentur, durabilitas yang baik.



## 2. Kebersihan (*Cleanliness*)

Agregat yang mengandung substansi asing merusak perkerasan seperti zat-zat organik, lempung dan yang lainnya harus dihilangkan sebelum digunakan dalam campuran perkerasan. Substansi ini akan menghalangi aspal terserap ke dalam pori-pori batuan, sehingga terjadi pengelupasan aspal dari agregat. *California Division of Highways* telah mengembangkan suatu cara untuk menentukan zat-zat merugikan tersebut dengan *sand equivalent test*.

## 3. Keausan dan kekerasan (*Toughness*)

Proses kerusakan agregat dapat disebabkan oleh pengaruh cuaca, pelaksanaan yang kurang baik serta pengaruh beban lalu lintas. Oleh karena itu, agregat yang digunakan harus cukup tahan terhadap pemecahan (*crushed*), penurunan mutu (*degradation*) dan penghancuran (*disintegration*). Ketahanan agregat terhadap cuaca atau pengikisan dapat diukur/ditentukan dengan menggunakan mesin *Los Angeles* atau dengan uji penumbukan.

## 4. Tekstur permukaan (*Surface texture*)

Tekstur permukaan juga berperan dalam mempengaruhi lekatan antara aspal dan agregat. Selain itu, juga berpengaruh terhadap cara pengerjaan dan kekuatan campuran aspal. Tekstur permukaan dari agregat sendiri dibagi atas tiga macam yaitu:

- a Batuan kasar (*Rough*), tekstur permukaan yang kasar dan kasap akan memberikan gaya gesek yang lebih besar sehingga dapat menahan gaya-gaya pemisah yang bekerja pada agregat. Tekstur kasar juga memberikan daya adhesi yang lebih baik antara aspal dan agregat.
- b Batuan halus (*Smooth*), agregat yang halus lebih mudah terselimuti aspal namun tidak memberikan kelekatan yang baik dengan aspal sehingga pada batuan jenis ini lebih mudah dikerjakan namun sulit untuk dipadatkan.
- c Batuan mengkilat (*Polished*), batuan jenis memberikan *internal friction* yang rendah dan sulit dilekati aspal.

## 5. Absorpsi (*Absorption*)

Porositas suatu agregat mempengaruhi jumlah aspal yang dapat diserap/terabsorpsi dalam campuran. Sehingga semakin tinggi porositasnya,

makin banyak aspal yang terabsorpsi sehingga campuran menjadi semakin mahal. Umumnya agregat yang berpori banyak biasanya tidak dapat digunakan, kecuali bilamana agregat tersebut mempunyai sifat-sifat lainnya seperti abrasi, daya tahan terhadap pelapukan, dan lain-lain.

#### 6. Kelekatan terhadap aspal

Adhesi antara aspal dan batu terjadi karena adanya penyerapan dan tarik-menarik antara molekul. Agregat yang mudah tergelincir biasanya mempunyai sifat *hidrofilik* (suka air), jenis agregat ini tidak baik digunakan dalam konstruksi lapis keras, agregat *hidrofilik* umumnya mengandung asam atau silikat seperti kuarsa. Namun, sebaliknya agregat yang bersifat menolak air atau (*hidrofobik*) akan mengikat aspal dengan lebih baik dan akan mengusir air yang mungkin dapat menyebabkan terjadinya penggelinciran, contoh agregat ini adalah batu kapur. Selain jenis agregat yang mempengaruhi ikatannya dengan aspal, bentuk partikel agregat yang kubisan, angular, ukuran partikel dan permukaan agregat yang kasar juga cenderung memberikan ikatan yang baik antara agregat dan aspal.

#### 2.2.1. Agregat Kasar

Agregat kasar didefinisikan sebagai material yang tertahan pada saringan 2,36 mm atau saringan No.8 pengujian saringan BS. Menurut *Shell*, (1990) fungsi agregat kasar adalah sebagai bahan pengisi dalam campuran HRA, sehingga campuran tersebut menjadi lebih ekonomis.

Kontribusi agregat kasar terhadap kekuatan campuran jenis ini adalah kecil. Sedang peningkatan agregat kasar secara teoritis akan mengurangi kekuatan campuran, karena proporsi mortar yang menjadi tumpuan kekuatan bagi campuran tersebut berkurang dengan bertambahnya agregat kasar.

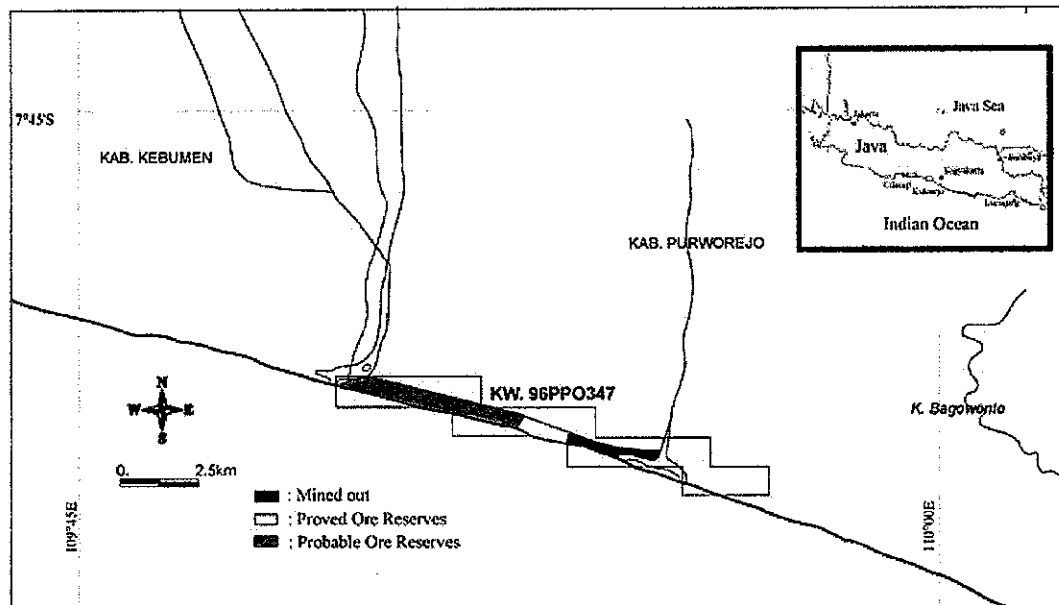
### 2.2.2. Agregat Halus

Menurut BS 594;1992 dan Shell, (1990) agregat halus yang digunakan dalam campuran HRA adalah agregat halus yang lolos saringan #2,36 mm BS dan tertahan di saringan #75  $\mu\text{m}$  BS. Kontribusinya terhadap kinerja campuran (terutama stabilitas) dilakukan dengan mekanisme *internal friction* melalui *angular shape* dari partikel agregat. Akan tetapi pada agregat halus alami yang cenderung berbentuk *rounded* yang terjadi justru sebaliknya, fraksi ini justru menjadi media gelicir bagi fraksi di atasnya sehingga stabilitas yang dihasilkan juga rendah. Agregat halus dapat berupa pasir alam dan hasil pemecahan ataupun gabungan dari keduanya (BS 594; 1992).

### 2.2.3. Pasir Besi

Salah satu daerah tambang pasir besi di pesisir Selatan Pulau Jawa adalah daerah Kutoarjo, Kabupaten Purworejo yang pengelolaannya dilakukan oleh Badan Usaha Milik Negara (BUMN) PT. Aneka Tambang. Pasir besi daerah ini mempunyai kandungan besi (Fe) yang relatif lebih rendah yaitu 49,41 s/d 49,61 %, dibandingkan daerah lainnya, seperti daerah Cilacap, Yogyakarta, Lumajang, yang berkisar antara 50-60 % (ANTAM, 2001).

Hal inilah yang menyebabkan jumlah produksi pasir besi untuk wilayah penambangan Cilacap lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah penambangan Kutoarjo, yaitu produksi pada kuartal ketiga tahun 2001 untuk wilayah penambangan pasir besi Kutoarjo memproduksi pasir besi sebanyak 45.549 Wmt (*Weight metric tons*), sedangkan produksi wilayah penambangan pasir besi Cilacap pada waktu yang sama yaitu sebesar 56.406 Wmt (*Weight metric tons*). Wilayah penambangan pasir besi Kutoarjo seperti yang terlihat pada Gambar 2.1 dibawah ini adalah wilayah eksplorasi yang selama ini dilakukan oleh PT. Aneka Tambang, serta wilayah deposit yang belum tergal. Menurut website resmi dari PT. Aneka Tambang, (ANTAM, 2001), cadangan deposit pasir besi yang ada di daerah penambangan Kutoarjo sendiri berkisar  $\pm 1.763.000$  Wmt (*Weight Metric Ton*).



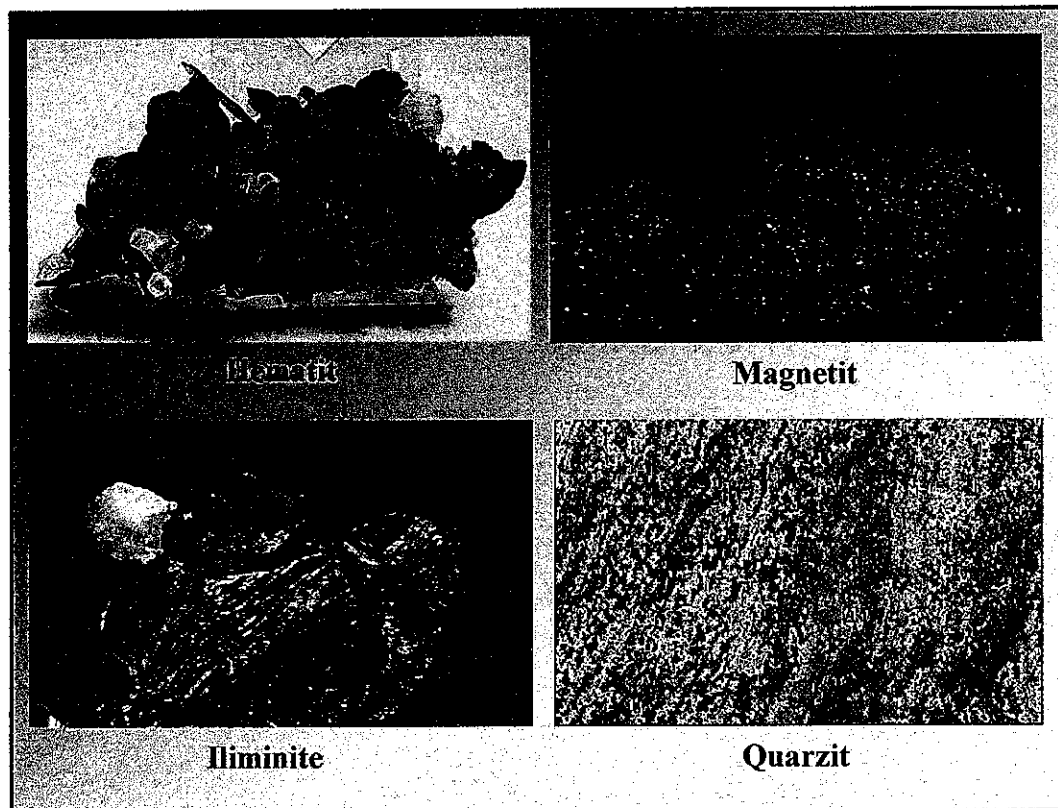
Sumber: [www.ANTAM.com](http://www.ANTAM.com), 2001.

**Gambar 2.1.** Daerah operasi penambangan pasir besi Kutoarjo

Daerah penghasil pasir besi selain pantai Selatan Pulau Jawa, antara lain di daerah Lampung, Pulau Flores, Gunung Kukusan (Kalimantan), Larona (Sulawesi) dengan kandungan besi berkisar 33-58 %. (DEPTAMBEN, 1992, 1995).

Pasir besi tersusun atas beberapa mineral utama antara lain Magnetit, Ilminite, Hematit dan Kwarsa, Menurut Purwiardi dan Rustadi, (1992), komposisi mineral pasir besi di daerah pantai selatan pulau Jawa terdiri dari mineral bijih *Magnetit*, *Ilminite* dan sedikit *Hematit* serta mineral-mineral ikutan seperti *Hypersthene*, *Augite*, *Albite*, *Biotite*, dan Kwarsa. Beberapa mineral penyusun dari pasir besi dapat dilihat pada Gambar 2.2. dibawah ini.

Dalam proses penambangannya, eksplorasi dilakukan dengan menyemprotkan air bertekanan tinggi kedalam deposit pasir besi yang kemudian dilakukan penyeleksian dengan menggunakan metode magnetik, sehingga kandungan material ikutan seperti lumpur, bahan organik dan pasir pantai relatif sangat sedikit.



Sumber: <http://www.mineral.galleries.com/copyrite.htm>, (1999)

**Gambar 2.2** Mineral penyusun pasir besi

#### 2.2.4. Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi atau *filler* adalah kumpulan mineral agregat yang umumnya lolos saringan BS. No. 200 (0,075 mm). Biasanya digunakan untuk mengisi rongga antar partikel agregat kasar sehingga akan meningkatkan kerapatan dan stabilitas campuran. Selain itu, besarnya *air void* yang cukup akan memberikan tingkat elastisitas yang baik terhadap repitisi beban yang ada serta lapisan menjadi kedap air. Namun kandungan *filler* yang terlalu tinggi akan cenderung menghasilkan campuran yang mudah melunak disaat cuaca panas sehingga sering dikatakan terjadi *bleeding*. *Filler* dapat berupa semen portland, abu batu dan abu bata kapur (CQCMU,1998).

Bahan pengisi (*filler*) juga efektif dalam mereduksi sifat kepekaan campuran terhadap perubahan suhu. Disamping itu, *filler* berpengaruh terhadap kebutuhan kadar aspal. Dengan penambahan kadar *filler* campuran perkerasan akan menjadi

kering karena *filler* menyerap banyak aspal, sebaliknya dengan pengurangan kadar *filler* campuran akan menjadi basah.

### 2.3. Aspal

Menurut Soeprapto Totomihardjo, (1995), aspal merupakan senyawa Hidrogen (H) dan Karbon (C) yang terdiri dari *Paraffins*, *Nephtene* dan *Aromatics*, bahan-bahan inilah yang kemudian membentuk kelompok-kelompok unsur senyawa yang disebut antara lain, *Asphaltenese*, *Oils* dan *Resins*, sedangkan menurut Shell, (1990), didalam aspal tersusun atas dua jenis kimia yang dominan yaitu *Asphaltenese* dan *Maltense*. *Maltense* sendiri terdiri atas tiga jenis yaitu *Saturates*, *Aromatic*, dan *Resins*. Keempat jenis kimia inilah yang mempengaruhi *Rheology* aspal. *Asphaltenese* merupakan material berwarna hitam atau coklat tua yang mengandung *Carbon*, *Hidrogen*, sedikit *Nitrogen*, Sulfur dan Oksigen. Zat ini sangat berperan dalam karakteristik Reologi aspal. Kandungan *Asphaltenese* yang tinggi menyebabkan aspal menjadi keras dengan nilai penetrasi yang rendah. Besarnya kandungan *Asphaltenese* dalam aspal berkisar antara 5 %-25 %. *Resin* serupa dengan *Asphaltenese*, berwarna coklat kehitaman berbentuk solid ataupun semi-solid. Kandungan *Resin* dalam aspal menyebabkan adhesi aspal menjadi lebih kuat. *Aromatic* merupakan molekul aspal yang paling ringan, dan paling banyak terkandung didalam aspal yaitu sebesar 40 % sampai 65 %, merupakan medium dispersi dari *Asphaltenese*, serta mempunyai kemampuan yang tinggi untuk melarutkan molekul hidrokarbon berat lainnya. *Saturates* bersama-sama dengan *Alkaline Neptane* dan sedikit *Alkaline-Aromatic* merupakan cairan minyak non polar berwarna putih atau bening.

Krebs, (1971) menyebutkan bahwa aspal adalah suatu suspensi koloida dari *Asphaltenese* dalam suatu medium *Oil* dengan *Resin* didalamnya yang berfungsi sebagai pencegah terjadinya penggumpalan pada *Asphaltenese*. *Resin* juga berperan pada sifat adhesi duktilitas aspal, sedangkan *Oil* berperan pada viskositas dan *flow*.

Aspal pada lapis perkerasan jalan berfungsi sebagai bahan ikat antar agregat untuk membentuk suatu campuran yang kompak, sehingga akan memberikan kekuatan yang lebih besar dari kekuatan masing-masing agregat. Aspal yang digunakan pada penelitian ini merupakan hasil penyulingan minyak mentah produksi Pertamina

Aspal merupakan material yang bersifat *visco-elastis* dan memiliki ciri-ciri yang beragam mulai dari yang bersifat sangat lekat sampai yang bersifat elastis. Diantara sifat-sifat aspal lainnya adalah:

- 1 Aspal mempunyai sifat *Thixotropy*, yaitu jika dibiarkan tanpa mengalami tegangan-regangan akan berakibat aspal menjadi mengeras sesuai dengan jalannya waktu.
- 2 Aspal mempunyai sifat *Rheologic*, yaitu hubungan antara tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) dipengaruhi oleh waktu. Apabila mengalami pembebanan dengan jangka waktu pembebanan yang sangat cepat, maka aspal akan bersifat elastis, namun jika lama pembebanan yang terjadi cukup lama, sifat aspal menjadi plastis (*viscous*).
- 3 Aspal adalah bahan yang *Thermoplastis*, yaitu konsistensinya atau viskositasnya akan berubah sesuai dengan perubahan temperatur yang terjadi. Semakin tinggi temperatur aspal, maka viskositasnya akan semakin rendah atau semakin encer, demikian pula sebaliknya. Dari segi pelaksanaan lapis keras, aspal dengan viskositas yang rendah akan menguntungkan karena aspal akan menyelimuti batuan dengan lebih baik dan merata. Namun pemanasan yang berlebihan terhadap aspal akan merusak molekul-molekul dari aspal, misalnya aspal menjadi getas dan rapuh.

Dilihat dari sifat kekerasannya, *the Asphalt Institute*, (1995) menekankan agar penggunaan aspal keras pada perkerasan jalan tergantung dari tipe perkerasan dan kondisi iklimnya, yang terdapat pada Tabel 2.1 berikut ini:

**Tabel 2.1.** Penetrasi aspal untuk berbagai kondisi iklim

Perkerasan	Iklim			
	Panas kering	Panas Lembab	Sedang	Dingin
<b>LAPANGAN TERBANG</b>				
RUNWAY	60-70	85-100	85-100	120-150
TAXIWAY	60-70	60-70	85-100	85-100
APRON	60-70	60-70	60-70	85-100
<b>JALAN RAYA (lalu lintas)</b>				
BERAT	60-70	60-70	85-100	85-100
RINGAN	85-100	85-100	85-100	85-100

Sumber: *the Asphalt Institute* (1995)

Pada saat pemadatan dan pencampuran, sifat aspal dapat ditunjukkan dari nilai viskositasnya, sedangkan pada saat masa layan, aspal mempunyai sifat viskositas

yang diwujudkan dalam suatu modulus kekakuan (*Shell*, 1990). Nilai viscositas aspal, biasanya ditentukan berdasarkan besarnya penetrasi pada masing-masing aspal tersebut. Jenis aspal dengan penetrasi rendah biasanya digunakan untuk lalu lintas berat dan cuaca yang panas begitu pula sebaliknya.

#### **2.4. Hot Rolled Asphalt (HRA)**

*Hot Rolled Asphalt* adalah suatu campuran bahan perkerasan jalan yang menerapkan penggunaan gradasi senjang (*gap graded*) pada campuran agregat. Jenis campuran ini telah lama dikembangkan dan dipakai untuk konstruksi perkerasan jalan di Inggris. Campuran aspal ini kemudian dikembangkan oleh *Clifford R*, sedang prosedur pembuatan dan pelaksanaan campuran HRA mengacu pada *British Standard Institution* (BS 594; 1985) yang selanjutnya mengalami beberapa kali revisi (*Shell*, 1990).

Penggunaan gradasi senjang pada campuran ini mengandung beberapa keuntungan dan kerugian. Salah satu kerugiannya adalah penggunaan kadar aspal yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan campuran dengan gradasi menerus sehingga biaya produksi, menjadi relatif lebih mahal. Kandungan aspal pada campuran dengan gradasi menerus umumnya berkisar 4-5 % dari volume campuran, namun pada campuran dengan gradasi senjang seperti *HRA*, kandungan aspalnya lebih banyak yaitu 5-10 % dari volume campuran sedangkan beberapa keuntungan dari campuran jenis ini adalah, tahan terhadap keausan, lebih lentur karena fleksibilitasnya yang tinggi, lebih mudah dikerjakan, serta tahan terhadap pengaruh cuaca.

Menurut *Hunter*, (1994), kandungan agregat kasar lebih dari 40% dari berat, menimbulkan efek interlock antar agregat kasar. Hal yang sebaliknya akan terjadi pada kandungan agregat yang kurang dari 40 %, sehingga performa mekanis campuran hanya bergantung pada kualitas mortarnya saja.

Perencanaan campuran aspal panas *HRA* berdasarkan BS 594; (1992) mencakup lapisan *sub base*, *base*, bahkan *wearing course* (lapisan aus). Untuk lapis aus atau disebut juga lapis permukaan, biasa digunakan pada daerah yang mempunyai iklim tropis dan subtropis karena sifatnya yang tahan terhadap cuaca, dan keausan.



Lapisan permukaan (*Wearing Course*) dibagi beberapa tipe berdasarkan gradasi agregat halus yaitu *HRA* tipe C (*Coarse*), tipe F (*Fine*) dan tipe R. Menurut *BS 594:1992*, tipe C memiliki gradasi yang lebih kasar, dengan kandungan agregat halus yang tertahan uji saringan ukuran 2,36 mm tidak boleh lebih dari 10 % dan agregat yang lolos uji saringan ukuran 0,075 mm tidak melebihi 19 %, sedangkan pada *HRA* tipe F ditandai dengan gradasi senjang yang khas dari campuran *tradisional rolled asphalt* dan biasanya berhubungan dengan penggunaan pasir halus ataupun agregat halus yang tidak spesifik menyesuaikan dengan batasan gradasi yang ada. Pada tipe F, agregat halus yang tertahan uji saringan ukuran 2,36 mm tidak boleh melebihi 5 % dan yang lolos uji saringan ukuran 0,075 mm tidak boleh lebih dari 9 %.

Tipe R serupa dengan kedua tipe material tersebut diatas, namun dengan target binder yang lebih tinggi dari kedua tipe tersebut diatas, minimal 0,5 %. Tipe R cenderung digunakan untuk tipe lalu-lintas ringan, ataupun sesuai untuk daerah dengan kondisi sangat panas ataupun sangat dingin jauh dari kondisi normal.

## **2.5. Perencanaan Campuran Beraspal**

Menurut *British Standard BS 594; (1992)* ada dua metode yang dapat dipakai dalam perencanaan campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)*, yaitu:

### **1. Metode Resep (*Recipe Design*)**

Dalam membuat perencanaan gradasi agregat, komposisi campuran dan cara pelaksanaan campuran pada metode resep ini, didasarkan pada pengalaman yang telah diuji berulang kali, sehingga memudahkan pembuatan komposisi campuran, namun sulit diterapkan untuk daerah yang memiliki kondisi lingkungan yang berbeda dengan negara asalnya Inggris.

### **2. Metode Perencanaan Campuran (*Mix Design*)**

Metode ini memberikan pemilihan tipe agregat, gradasi dan kadar aspal dalam campuran *HRA*, sesuai dengan lokasi pelaksanaan konstruksi. Kadar aspal ditentukan berdasarkan kecenderungan yang paling mungkin dari sifat-sifat teknis campuran *HRA* berdasarkan uji *Marshall*.

Kemampuan dari lapis permukaan *Hot Rolled Asphalt (HRA)* untuk menahan deformasi plastis salah satunya dipengaruhi sifat-sifat dasar pemilihan bahan dan ketelitian dalam menentukan dan menetapkan kadar aspal optimum dalam komposisi

campuran. Beberapa sifat karakteristik campuran aspal yang perlu diperhatikan antara lain:

1. Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas adalah kemampuan untuk melawan deformasi atau perubahan bentuk yang disebabkan beban lalu lintas yang harus didukungnya. Nilai stabilitas diperoleh bersamaan dengan nilai fleksibilitas yang ditunjukkan berdasarkan jarum dial yang berbeda pada pengujian *Marshall*. Stabilitas tergantung dari gaya gesek (*internal friction*) dan kohesi (*cohesion*). Sedangkan *internal friction* atau gaya gesek tergantung pada *surface texture*, gradasi agregat, bentuk kombinasi dari gaya gesek dan kemampuan saling mengunci dari agregat pada campuran. Tahanan gesek bertambah seiring dengan bertambahnya kekerasan dan luas area kontak permukaan agregat.

2. Fleksibilitas (*Flexibility*)

Fleksibilitas (*Flexibility*) adalah kemampuan suatu lapis perkerasan untuk menyesuaikan perubahan bentuk yang terjadi di bawahnya tanpa mengalami retak-retak. Sifat ini bertolak belakang dengan stabilitas, maka dalam perencanaan, kedua sifat ini diusahakan mencapai nilai optimumnya masing-masing. Nilai fleksibilitas suatu campuran diperoleh dari jarum dial *flow* pada pengujian *Marshall*. Fleksibilitas dapat ditingkatkan dengan menambah kadar aspal pada campuran, menggunakan aspal daktilitas tinggi, mengurangi tebal lapis keras dan menggunakan gradasi relatif terbuka.

3. Durabilitas (*Durability*)

Menurut *Krebs*, (1971), durabilitas beton aspal adalah kemampuan resistensi beton aspal terhadap disintegrasi akibat beban lalu lintas. Dalam hal ini, resistensi telah mengalami reduksi sebagai akibat aksi *weathering* atau akibat degradasi mekanis agregat. Kadar bitumen optimum menambah durabilitas campuran karena selimut aspal yang cukup akan menghambat lajunya proses pengerasan dan penuaan bitumen yang cepat dibanding selimut bitumen yang tipis.

## 2.6. Metode Pengujian *Marshall*

Konsep dasar dari metoda *Marshall* dalam campuran aspal dikembangkan oleh *Bruce Marshall*, seorang insinyur bahan aspal bersama-sama dengan *The Mississippi*

*State Highway Department. The U.S. Army Corp of Engineers*, melanjutkan penelitian dengan ekstensif dan mempelajari hal-hal yang ada kaitannya, meningkatkan dan menambah kelengkapan pada prosedur pengujian *Marshall* dan akhirnya mengembangkan kriteria rancangan campuran pengujian ini, yang telah distandarisasikan didalam *American Society for Testing and Material, 1989 (ASTM D-1559)*

Dua parameter penting yang ditentukan dalam pengujian ini adalah beban maksimum yang dapat dipikul benda uji sebelum hancur atau *Marshall Stability* dan deformasi sampel sebelum hancur yang disebut *Marshall Flow*, serta turunan dari keduanya yang merupakan perbandingan antara *Marshall Stability* dengan *Marshall Flow* yang disebut sebagai *Marshall Quotient*, yang merupakan nilai kekakuan berkembang (*speudo stiffness*), yang menunjukkan ketahanan campuran terhadap deformasi permanen (*Shell, 1990*).

Pada sebagian besar agregat, daya ikat terhadap air jauh lebih besar jika dibandingkan terhadap aspal, karena air memiliki *wetting power* yang jauh lebih besar dari aspal (*Soeprapto Totomihardjo, 1995*). Keberadaan debu yang berlebihan pada agregat juga akan berakibat kegagalan pengikatan ataupun berakibat munculnya potensi kehilangan daya ikat campuran. (*Hunter, 1994*).

Uji perendaman *Marshall (Marshall Immersion Test)* merupakan uji lanjutan dari uji *Marshall* sebelumnya, dengan maksud mengukur ketahanan daya ikat/adhesi campuran terhadap pengaruh air dan suhu (*water sensitivity and temperature susceptibility*). Ada beberapa cara yang digunakan untuk menilai tingkat durabilitas campuran, salah satunya adalah dengan mencari Indeks Kekuatan Sisa (IKS)/*Marshall Retained Strength Index* dan cara lain adalah dengan menghitung Indeks Penurunan Stabilitas (IPS). Perbedaan keduanya adalah dasar perbandingan dari variasi lamanya perendaman dalam *waterbath*. Prosedur pengujian durabilitas mengikuti rujukan SNI M-58-1990.

## **2.7. Hasil Penelitian yang Relevan**

Sampai saat ini telah banyak para ahli yang telah melakukan penelitian mengenai penggunaan bahan alternatif pada campuran aspal panas *Hot Rolled Asphalt (HRA)*, diantaranya adalah:

1. Hermawan A.B. dan Raya Hutagaol, (1996), yang meneliti tentang “Pemanfaatan Bottom-Ash Dalam Campuran *Hot Rolled Asphalt*”, yang menyatakan bahwa pemakaian Bottom Ash dalam campuran HRA ternyata memberikan nilai kelenturan yang cukup tinggi ( $>5$  mm) yang disebabkan oleh daya serap Bottom Ash terhadap aspal yang terlalu tinggi sehingga menyebabkan tingkat durabilitas campuran menjadi menurun dan menjadi kurang nyaman jika dilalui kendaraan.
2. Gunawan Suryo, (2001) mengadakan penelitian dengan judul, “Nilai Kuat Tekan Beton Pasir Besi Dibandingkan Beton Pasir Kali Dengan Variasi Campuran Dan Variasi Faktor Air Semen”, yang menyatakan bahwa penggunaan pasir besi sebagai agregat halus pada campuran beton ternyata menyebabkan kebutuhan faktor air semen menjadi lebih besar dari pada campuran dengan agregat halus pasir kali. Hal ini disebabkan penyerapan air pasir besi lebih tinggi jika dibanding pasir kali..

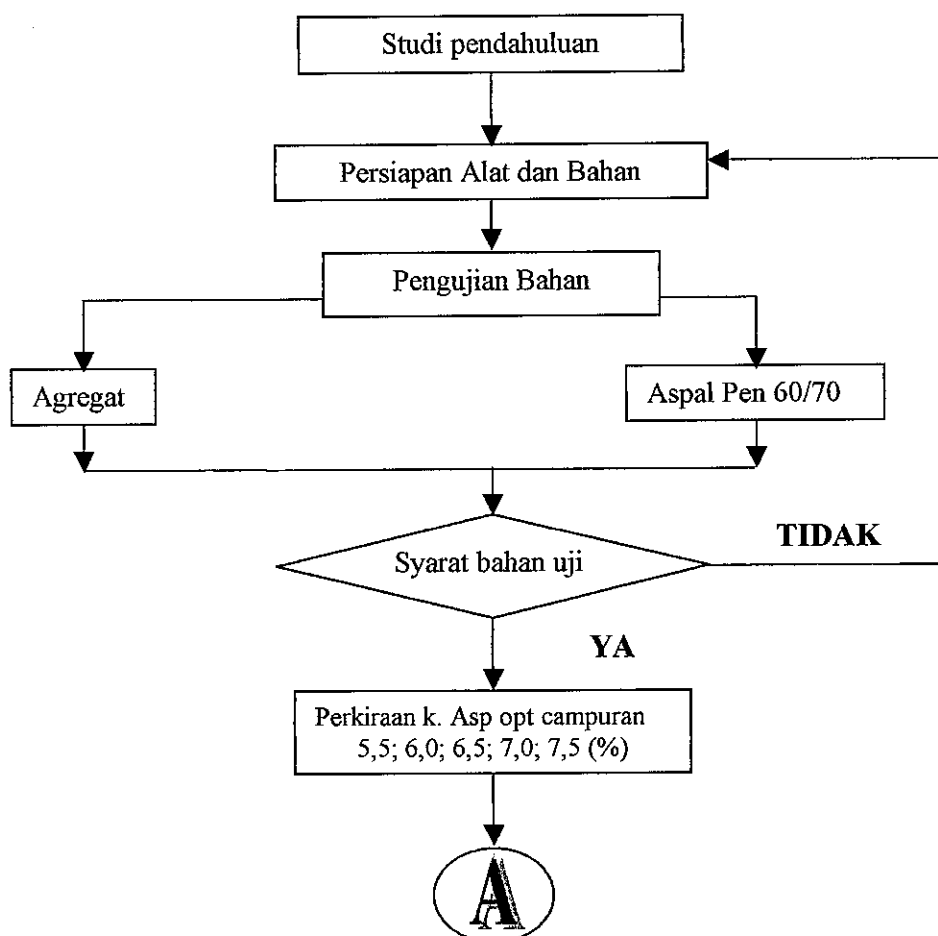
Pada penelitian ini, yang membedakan adalah pemanfaatan pasir besi sebagai agregat halus didalam campuran aspal panas *Hot Rolled Asphalt (HRA)* sebagai kontruksi lapisan aus (*wearing course*) serta mencoba membandingkannya dengan campuran aspal panas *Hot Rolled Asphalt (HRA)* yang menggunakan agregat halus pasir kali berdasarkan karakteristik pengujian *Marshall*, serta menganalisa sifat durabilitas campurannya.

### BAB III

#### METODOLOGI PENELITIAN

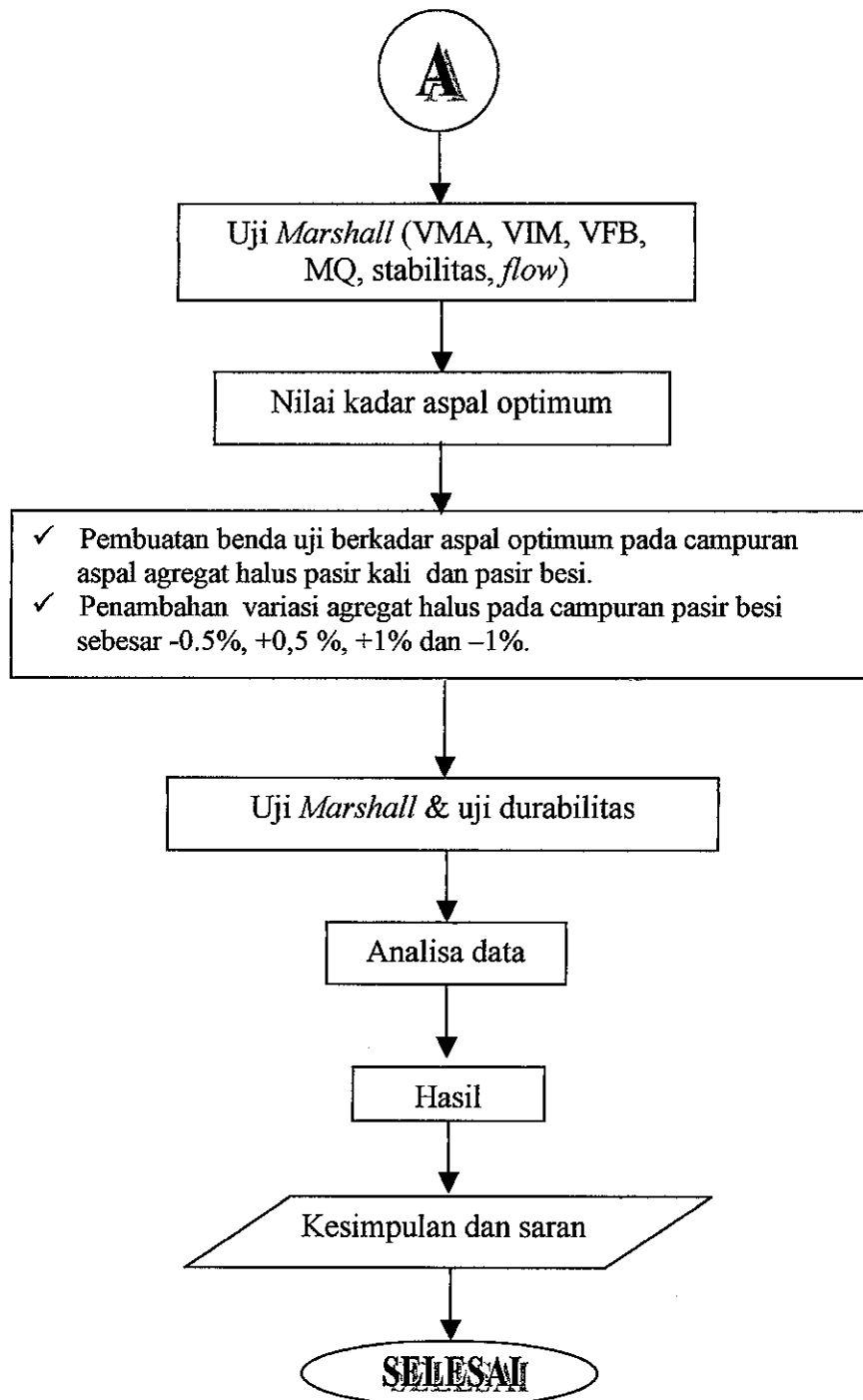
##### 3.1. Metode dan Desain

Penelitian ini sepenuhnya dilaksanakan di laboratorium, sedangkan metode pengujiannya mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI), *British Standard (BS)* dan AASHTO. Adapun pelaksanaan pengujian meliputi beberapa tahap pelaksanaan, yaitu pemeriksaan bahan, seperti agregat maupun aspal, penentuan gradasi campuran, pembuatan resep campuran serta dilanjutkan dengan pengujian *Marshall* dan analisa durabilitas campuran. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat secara skematis pada Gambar 3.1.dibawah ini.



**Gambar 3.1.** Diagram alir kegiatan

## Lanjutan



### 3.2. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Agregat kasar, berasal dari Singorojo Gunungpati Semarang dan diperoleh dari hasil pemecahan batu (*stone crusher*) dari AMP PT. Muhandas Sarana Semarang.
2. Begitu pula untuk agregat pengisi (*filler*) yang digunakan adalah abu batu dari hasil pemecahan batu (*stone crusher*) dari AMP PT. Muhandas Sarana Semarang.
3. Agregat halus (pasir kali) menggunakan pasir kali asal Muntilan.
4. Pasir besi yang digunakan, berasal dari wilayah penambangan Kutoarjo yang diperoleh dari PT. Aneka Tambang Cabang Kutoarjo, Kabupaten Purworejo Jawa Tengah.
5. Untuk bahan aspal menggunakan aspal PERTAMINA dengan penetrasi 60/70.

### 3.3. Peralatan Penelitian

#### 1. Alat uji pemeriksaan aspal

Alat yang digunakan untuk pemeriksaan aspal antara lain: alat uji penetrasi, alat uji titik lembek, alat uji titik nyala dan titik bakar, alat uji daktilitas, alat uji berat jenis (piknometer dan timbangan), alat uji kelarutan ( $\text{CCl}_4$ ).

#### 2. Alat uji pemeriksaan agregat

Alat uji yang digunakan untuk pemeriksaan agregat antara lain mesin *Los Angeles* (tes abrasi), saringan standar, alat uji kepipihan, alat pengering (oven), timbangan berat, alat uji berat jenis (piknometer, timbangan, pemanas), bak perendam dan tabung *sand equivalent*.

#### 3. Alat uji karakteristik campuran agregat aspal

Alat uji yang digunakan adalah seperangkat alat untuk metode *Marshall*, meliputi:

- o Alat tekan *Marshall* yang terdiri kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 2500 kg (5000 lb) yang dilengkapi dengan arloji pengukur *flowmeter*.
- o Alat cetak benda uji berbentuk silinder diameter 10,2 cm (4 inch) dengan tinggi 7,5 cm (3 inch) untuk *Marshall* standar.

- o Penumbuk manual yang mempunyai permukaan rata berbentuk silinder dengan diameter 9,8 cm, berat 4,5 kg (10 lb) dengan tinggi jatuh bebas 45,7 cm (18 inch).
- o Ejektor untuk mengeluarkan benda uji setelah proses pemadatan.
- o Bak perendam yang dilengkapi pengatur suhu.
- o Alat-alat penunjang meliputi panci pencampur, kompor pemanas, termometer, kipas angin, sendok pengaduk, kaos tangan anti panas, kain lap, kaliper, spatula, timbangan dan tip-ex/cat minyak, untuk menandai benda uji.

### 3.4. Dasar perhitungan

Secara keseluruhan perhitungan-perhitungan yang digunakan mengacu pada DPU (1989,1990), dan *the Asphalt Institute* (1995).

#### 3.4.1. Berat Jenis *Bulk* dan *Apparent Total Agregat*

Agregat total terdiri atas fraksi-fraksi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi/*filler* yang masing-masing mempunyai berat jenis yang berbeda, baik berat jenis kering (*bulk specific gravity*) dan berat jenis semu (*apparent specific gravity*). Berat jenis kering ( $G_{sb_{tot \text{ agregat}}}$ ) total agregat dapat dihitung berdasarkan Persamaan 3.1 sedangkan berat jenis semu dapat dihitung berdasarkan persamaan 3.2 dibawah ini.

Berat jenis kering (*bulk specific gravity*) dari total agregat

$$G_{sb_{tot \text{ agregat}}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb_1}} + \frac{P_2}{G_{sb_2}} + \frac{P_3}{G_{sb_3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sb_n}}} \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

Berat jenis semu (*apparent specific gravity*) dari total agregat

$$G_{sa_{tot \text{ agregat}}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sa_1}} + \frac{P_2}{G_{sa_2}} + \frac{P_3}{G_{sa_3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sa_n}}} \quad \dots \dots \dots (3.2)$$

Keterangan:

- $G_{sb_{tot \text{ agregat}}}$  : Berat jenis kering agregat gabungan, (gr/cc)
- $G_{sa_{tot \text{ agregat}}}$  : Berat jenis semu agregat gabungan, (gr/cc)
- $G_{sb_1}, G_{sb_2} \dots G_{sb_n}$  : Berat jenis kering dari masing-masing agregat 1,2,3...n,



- (gr/cc)
- $G_{sa1}, G_{sa2}, ..G_{san}$  : Berat jenis semu dari masing-masing agregat 1,2,3..n,  
(gr/cc)
- $P_1, P_2, P_3, ...$  : Prosentase berat dari masing-masing agregat, (%)

### 3.4.2. Berat Jenis Efektif Total Agregat

Berat jenis efektif total agregat dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 3.3 dan 3.4. dibawah ini. Persamaan 3.4 biasanya digunakan berdasarkan hasil pengujian Kepadatan Maksimum Teoritis.

Berat jenis efektif dari total agregat

$$G_{se_{tot \text{ agregat}}} = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \dots\dots\dots (3.3)$$

$$G_{se_{tot \text{ agregat}}} = \frac{100 - P_b}{\frac{100}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots (3.4)$$

Keterangan:

- $G_{sb}$  : Berat jenis kering/ *bulk spesific gravity*,(gr/cc)
- $G_{sa}$  : Berat jenis semu/ *apparent spesific gravity*, (gr/cc)
- $G_{sb}$  : Berat jenis aspal, (gr/cc)
- $G_{se_{tot \text{ agregat}}}$  : Berat jenis efektif agregat gabungan, (gr/cc)
- $G_{se1}, G_{se2}...G_{sen}$  : Berat jenis efektif dari masing-masing agregat 1,2,3..n,  
(gr/cc)
- $G_{mm}$  : Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc)
- $P_b$  : Prosentase kadar aspal terhadap total campuran, (%)

### 3.4.3. Stabilitas dan Flow

Nilai stabilitas diperoleh berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Untuk nilai stabilitas, nilai yang ditunjukkan jarum dial perlu dikonversikan terhadap alat *Marshall*. Pada umumnya alat *Marshall* yang digunakan bersatuan Lbf (pound force), sehingga harus disesuaikan satuannya terhadap satuan kilogram. Selanjutnya nilai tersebut juga harus disesuaikan dengan angka koreksi

akibat ketebalan benda uji. Untuk alat uji jarum dial *flow* biasanya sudah dalam satuan mm (milimeter), sehingga tidak perlu dikonversikan lebih lanjut.

#### 3.4.4. Volume Campuran dan Berat Jenis Campuran Setelah Pemadatan

Volume campuran setelah pemadatan

$$V_{bulk} = V_{SSD} - W_w \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

Berat jenis campuran setelah pemadatan

$$G_{mb} = \frac{W_a}{V_{bulk}} \quad \dots\dots\dots (3.6)$$

Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan ( $G_{mm}$ )

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{100 - P_b}{G_{se\,totalagregat}} + \frac{P_b}{G_{sb\,totalagregat}}} \quad \dots\dots\dots (3.7)$$

Keterangan:

- $V_{bulk}$  : Volume campuran setelah pemadatan, (cc)
- $W_{SSD}$  : Berat dalam kondisi kering permukaan, (gr)
- $W_w$  : Berat dalam air, (gr)
- $G_{mb}$  : Berat jenis campuran setelah pemadatan, (gr/cc)
- $G_{mm}$  : Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan, (gr/cc)

#### 3.4.5. Penyerapan Aspal

Penyerapan aspal dinyatakan dalam persen terhadap berat agregat total, tidak terhadap berat campuran. Perhitungan penyerapan aspal ( $P_{ba}$ ) adalah sebagai berikut:

$$P_{ba} = 100 \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{se} \times G_{sb}} G_b \quad \dots\dots\dots (3.8)$$

Keterangan:

- $P_{ba}$  : Penyerapan aspal, persen total agregat (%)
- $G_{sb}$  : Berat jenis *bulk* agregat, (gr/cc)
- $G_{se}$  : Berat jenis efektif agregat, (gr/cc)
- $G_b$  : Berat jenis aspal, (gr/cc)

### 3.4.6. Kadar Aspal Efektif

Kadar aspal efektif ( $P_{be}$ ) campuran beraspal adalah kadar aspal total dikurangi jumlah aspal yang terserap oleh partikel agregat. Kadar aspal efektif ini akan menyelimuti permukaan agregat bagian luar yang pada akhirnya akan menentukan kinerja perkerasan, persamaannya adalah:

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} P_s \quad \dots\dots\dots (3.9)$$

Keterangan:

- $P_{be}$  : Kadar aspal efektif, persen total campuran, (%)
- $P_b$  : Kadar aspal, persen total campuran, (%)
- $P_{ba}$  : Penyerapan aspal, persen total agregat, (%)
- $P_s$  : Kadar agregat, persen total campuran, (%)

### 3.4.7. Rongga Udara (*Air Voids*)

Rongga antar mineral agregat (VMA) adalah ruang rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). VMA dihitung berdasarkan berat jenis *bulk* ( $G_{sb}$ ) agregat dan dinyatakan sebagai persen volume bulk campuran yang dipadatkan. Perhitungan VMA terhadap campuran adalah:

Rongga udara dalam mineral agregat (*Void in the Mineral Aggregate/ VMA*)

$$VMA = 100 - \left[ (100 - P_b) \times \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \right] \quad \dots\dots\dots (3.10)$$

Rongga udara dalam campuran ( $V_a$ ) atau VIM dalam campuran perkerasan beraspal terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal. Volume rongga udara dalam campuran dapat ditentukan dengan rumus berikut:

Rongga dalam campuran (*Void In the Mix/ VIM*)

$$VIM = 100 - 100 \times \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \quad \dots\dots\dots (3.11)$$

Rongga terisi aspal (VFB) adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Rumus adalah sebagai berikut:

Rongga udara yang terisi aspal (*Voids Filled with Bitumen/ VFB*)

$$VFB = 100 \times \frac{(VMA - VIM)}{VMA} \dots\dots\dots (3.12)$$

Keterangan:

- VIM : Rongga udara pada campuran setelah pemadatan, prosentase dari volume total, (%)
- VMA : Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total, (%)
- VFB : Rongga udara yang terisi aspal, prosentase dari VMA, (%)
- Gmb : Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)
- Gmm : Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc)
- Pb : Kadar aspal, persen total campuran, (%)

#### 3.4.8. *Marshall Quotient* Dan Indeks Kekuatan Sisa

*Marshall Quotient (MQ)* dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$MQ = \frac{MS}{MF} \dots\dots\dots (3.13)$$

selanjutnya dilakukan uji rendaman *Marshall* untuk mendapatkan nilai Indeks Kekuatan Sisa (*Index of Retained Strength/ IRS*)

Indeks Kekuatan Sisa (*Index Retained Strength*)

$$IRS = \left[ \frac{Si}{Ss} \right] \times 100 \% \dots\dots\dots (3.14)$$

keterangan:

- MQ : *Marshall Quotient*, (kg/mm)
- MS : *Marshall Stability* (kg)
- MF : *Flow Marshall*, (mm)
- IRS : Indeks perendaman/ indeks stabilitas sisa
- Si : Stabilitas *Marshall* setelah perendaman 24 jam suhu ruang  $\pm 60^\circ\text{C}$ , (kg)
- Ss : Stabilitas *Marshall* standar pada perendaman selama 30-40 menit pada temperatur  $60^\circ\text{C}$ , (kg)

#### 3.4.9. Nilai Durabilitas dan *Dust Proportion*

Pengujian durabilitas dilakukan untuk mendapatkan nilai penurunan stabilitas dalam satuan persen dan kilogram pada kondisi perendaman yang berbeda yaitu tigapuluh menit, 3 jam, 9 jam, 24 jam dan 48 jam pada suhu 60 °C. rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$r = \sum \frac{S_i - S_{i+1}}{T_{i+1} - T_i} \quad \text{dan} \quad \dots\dots\dots (3.15)$$

$$R = \frac{r}{100\%} S^* \quad \dots\dots\dots (3.16)$$

*Dust proportion* adalah suatu nilai perbandingan antara prosentase *filler* terhadap prosentase aspal, tujuannya adalah untuk memprediksi kondisi campuran yang baik. Nilai *dust proportion* yang terlalu tinggi menyebabkan campuran menjadi kurang menyatu antara agregat kasar dan agregat halus yang disebabkan penyerapan aspal oleh *filler* terlalu tinggi. *the Asphalt Institute, (1995)* menyebutkan, *dust proportion* yang baik berkisar antara 0,6 s/d 1,2 rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$DP = Pf / Pb \quad \dots\dots\dots (3.17)$$

Keterangan:

- R : Indeks penurunan stabilitas (%)
- S : Nilai stabilitas (%)
- T : Waktu perendaman (jam)
- R : Indeks penurunan stabilitas (kg)
- S\* : Nilai stabilitas (kg)
- Pf : Prosentase *filler*
- Pb : Prosentase *bitumen*

#### 3.5. Prosedur Pengujian Material

Pemeriksaan yang dilaksanakan pada penelitian ini, meliputi pemeriksaan terhadap agregat kasar, agregat halus dan *filler*. Tujuan pemeriksaan bahan ini adalah diharapkan salah satu faktor kestabilan konstruksi perkerasan dapat terpenuhi, disamping hal lainnya yang menyangkut pelaksanaan di lapangan. Pemeriksaan material yang meliputi agregat kasar, agregat halus baik pasir kali maupun pasir besi

serta aspal dilakukan dengan mengacu pada standar SNI dan BS, sedangkan uji *sand equivalent* mengacu pada standar AASHTO. Spesifikasi pengujian dapat selengkapnya dilihat pada Tabel 3.1, Tabel 3.2 dan Tabel 3.3 dibawah ini.

**Tabel 3.1.** Spesifikasi pengujian bahan agregat kasar

No.	Karakteristik	Metode Pengujian	Satuan	Spesifikasi	
				Min.	Maks.
	Agregat Kasar				
1	Gradasi	BS 594, bag 1:1992	-		
2	Berat Jenis Curah	SNI-M 09-1989-F		2,5	-
3	Berat Jenis SSD	SNI-M 09-1989-F	-	-	-
4	Berat Jenis Semu	SNI-M 09-1989-F	-	-	-
5	Penyerapan Air	SNI-M 09-1989-F	%	-	3
6	Abrasi Los Angeles	SNI-M-02-1990-F	%	-	40
7	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	SNI-M-28-1990-1	%	95	-
8	Indeks kepipihan	BS 812 : Part :1975	%	-	25

Sumber : SNI (1989,1990), BSI (1992)

**Tabel 3.2.** Spesifikasi pengujian bahan agregat halus dan *filler*

<b>Agregat Halus</b>					
1	Gradasi	BS 594, bag 1:1992	-	-	-
2	Berat Jenis Curah	SNI-03-1970-1990-F		2,5	
3	Berat Jenis SSD	SNI-03-1970-1990-F	-	-	-
4	Berat Jenis Semu	SNI-03-1970-1990-F	-	-	-
5	Penyerapan Air	SNI-03-1970-1990-F	%	-	3
6	Sand Equivalent	AASHTO T-84-1974	%	50	
<b>Filler</b>					
1	Berat Jenis Curah	SNI-15-2531-1991	Gr/m <sup>3</sup>		

Sumber : SNI (1989,1990), BSI (1992) dan AASHTO (1975)

**Tabel 3.3.** Persyaratan untuk aspal

No	Jenis Pemeriksaan	Metode pengujian	Spesifikasi		Satuan
			Min	Max	
1	Penetrasi (25°C, 5 detik)	SNI 06-2441-1991	60	79	0,1 mm
2	Titik Lembek (ring dan ball)	SNI M-20-1990-F	48	58	°C
3	Titik nyala (Cleveland open cup)	SNI M-19-1990-F	200	-	°C
4	Titik bakar	SNI M-19-1990-F	-	-	°C
5	Kehilangan Berat (163°C, 5 jam)	SNI M-29-1990-F	-	0.4	% berat
6	Kelarutan CCL <sub>4</sub>	SNI M-27-1990-F	99	-	% berat
7	Daktilitas (25°C,5 cm/menit)	SNI M-18-1990-F	100	-	Cm
8	Penetrasi setelah kehilangan berat	SNI 06-2546-1991	75	-	% semula
9	Berat jenis (25°C)	SNI M-30-1990-F	1	-	Gr/cc

Sumber : SNI (1990, 1991).

### 3.6. Perencanaan dan Pembuatan Benda Uji

Jenis campuran yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji adalah campuran aspal panas HRA untuk lapisan *wearing course* dengan spesifikasi gradasi menurut *British Standart*, tipe F BS 594; 1992, kolom ¾", seperti terlihat pada Tabel 3.4 dibawah ini.

**Tabel 3.4.** Gradasi HRA tipe F (BS 594; 1992)

<i>Column number</i>	<i>¾"</i>
<i>Designation</i>	55/10
<i>Nominal layer tickness (mm)</i>	40
<i>Percentage (mm) of total aggregate passing test sieve</i>	(%)
14.00 mm	100
10.00 mm	90-100
6,30 mm	35-70
2,36 mm	35-47
600 µm	25-47
212 µm	5-30
75 µm	4-8
<i>Maximum persentage of aggregat passing 2.36 mm and retained on 600 µm test sieve</i>	9
<i>Minimum target binder content percentage of total mixture</i>	5,5

Sumber: *British Standart 594: 1992*

Jumlah material agregat yang digunakan mengacu pada jumlah total agregat  $\pm 1200$  gram. Hal ini dilakukan untuk mempermudah dalam pelaksanaan penelitian dan untuk lebih jelasnya mengenai jumlah material yang digunakan dapat dilihat pada lampiran B.

Dari gradasi target yang kita pilih, kita dapat menentukan berat masing-masing fraksi agregat sehingga total berat agregat  $\pm 1200$  gram. Pemilihan kadar aspal awal, untuk mendapatkan kadar aspal optimum dilakukan dengan menggunakan metode *trail and error*. Variasi yang digunakan pada campuran, baik yang menggunakan agregat halus pasir kali maupun pasir besi adalah rentang variasi kadar aspal 5,5 % sampai dengan 7,5 % dengan interval 0,5 %. Sehingga besarnya penggunaan aspal dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.5 dibawah ini.

**Tabel 3.5.** Rencana berat aspal terhadap total agregat

No.	Variasi aspal	Perhitungan	Berat aspal
1.	5,5 %	$(5,5 / (100 - 5,5))\% \times 1200 \text{ gr}$	69,84 gr
2.	6,0 %	$(6,0 / (100 - 6,0))\% \times 1200 \text{ gr}$	76,60 gr
3.	6,5 %	$(6,5 / (100 - 6,5))\% \times 1200 \text{ gr}$	83,42 gr
4.	7,0 %	$(7,0 / (100 - 7,0))\% \times 1200 \text{ gr}$	90,323 gr
5.	7,5 %	$(7,5 / (100 - 7,5))\% \times 1200 \text{ gr}$	97,30 gr

Langkah pelaksanaan selanjutnya adalah sebagai berikut:

#### Tahap I

Mencari kadar aspal optimum dengan membuat sampel, masing-masing sebanyak 4 sampel dengan menggunakan prosentase kadar aspal terhadap total agregat sebesar 5,5 %, 6 %, 6,5 %, 7 % dan 7,5 %.

Masing-masing bahan dalam hal ini aspal dan agregat serta *filler* dipanaskan dalam wajan yang terpisah. Untuk aspal, wajan dipanaskan sampai aspal mencapai tingkat kekentalan yang disyaratkan yaitu dibawah suhu titik nyala, sedangkan untuk agregat dan *filler* dipanaskan hingga 14 °C diatas suhu pencampuran yaitu 165 °C. Kemudian dicampur dengan aspal yang telah mencair dan segera diaduk sebentar hingga rata tercampur. Untuk proses pemadatannya, perlengkapan cetakan benda uji serta bagian muka penumbuk terlebih dahulu dibersihkan dengan seksama dan kemudian dipanaskan pada suhu 93,3-148,9 °C. Setelah peralatan siap, bagian bawah cetakan diberi kertas saring sesuai dengan ukuran cetakan dan campuran aspal segera dimasukkan seluruhnya ke dalam cetakan, tusuk 15 kali dengan *spatulla* pada bagian pinggir cetakan dan 10 kali untuk bagian tengah cetakan dan bagian atas diberi kertas lapis. Kemudian ditumbuk sebanyak 75 kali, setelah itu dibalik dan sisi yang lainnya dipadatkan 75 kali.

Sampel yang telah dipadatkan didinginkan dengan cara diangin-anginkan dan kemudian dikeluarkan dengan enjektor dengan hati-hati dan ditimbang, sehingga diperoleh berat kering diudara. Untuk kondisi SSD sampel direndam dalam air pada suhu ruang selama 24 jam, selanjutnya ditimbang dalam air dan ditimbang kondisi SSD.

Untuk sampel standart (*dry*), kemudian dimasukkan kedalam *waterbath* dengan suhu 60°C selama tiga puluh menit, selanjutnya dilakukan pengujian dengan uji



*Marshall*. Untuk jenis sampel rendaman (*soaked*), perendaman dalam *waterbath* dilakukan selama dua puluh empat jam. dan selanjutnya dilakukan uji *Marshall*. Dengan uji *Marshall* akan diketahui nilai VIM, VMA, VFB, kepadatan, stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient*. Jumlah sampel pada tahap ini dapat dilihat pada Tabel 3.6 berikut ini.

Dengan menggunakan program komputer, selanjutnya data diolah untuk mendapatkan nilai regresi yang mewakili data-data tersebut, sehingga diperoleh suatu persamaan regresi *Polynomial* pangkat tiga, untuk selanjutnya dengan bantuan kalkulator grafik diambil titik koordinat yang lebih mendetail yang menggambarkan titik koordinat puncak ataupun titik koordinat dari batasan parameter *Marshall*.

Dari hasil koordinat tersebut, selanjutnya dibuat suatu grafik batang yang menghubungkan kadar aspal total campuran dengan nilai parameter-parameter *Marshall*. Kadar aspal optimum diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata dari kadar aspal minimal dan kadar aspal maksimal yang memenuhi batasan parameter *Marshall* yang digambarkan sebagai grafik batang.

## Tahap II

Membuat sampel dengan kondisi kadar aspal optimum. Untuk campuran dengan agregat halus pasir besi, pembuatan sampel divariasikan dengan menambah dan mengurangi jumlah pasir besi dalam campuran. Variasi penambahannya berkisar antara -1 % sampai +1 % dengan interval 0,5 % berdasarkan prosentase volume campuran. Tujuannya adalah untuk melihat sejauh mana pengurangan kekuatan dari campuran jika divariasikan penambahan dan pengurangan agregat halusnya.

Selanjutnya sampel direndam dalam *waterbath* yaitu tiga puluh menit, 3 jam, 9 jam, 24 jam dan 48 jam dengan suhu yaitu  $\pm 60^{\circ}\text{C}$  dengan tujuan mencari seberapa besar pengaruh lama perendaman dalam *waterbath* terhadap nilai stabilitas dan *flow* yang dihasilkan. Kemudian dilanjutkan dengan pengujian *Marshall* serta analisa untuk sifat durabilitasnya. Prosedur pengujian *Marshall* mengacu rujukan SNI M-58-1990-03. Dari hasil perendaman tersebut akan diperoleh Indeks Penurunan Stabilitas dalam kilogram maupun prosentase. Sedangkan kriteria stabilitas untuk sampel HRA F yang dirancang di laboratorium mengacu pada standar DPU, (2000) dari puslitbang Bandung, seperti Tabel 3.6 berikut ini

**Tabel 3.6. Spesifikasi beberapa campuran beraspal**

No	Sifat-sifat campuran			Latasir		Lataston		Laston	
				A	B	WC	BC	WC1&2	BC
1	Penyerapan aspal % berat campuran		Maks	2,0		1,7			
2	Kadar aspal total %berat campuran		Maks	Sesuai dengan persyaratan yang harus dipenuhi dalam tabel ini.					
3	Jumlah tumbukan Marshall tiap permukaan			50		75		112*	
4	Kadar rongga dalam campuran (VIM)		Min Maks	3 6		3 6			3 8
5	Rongga diantara mineral agregat (VMA) dalam %		Min	20		18		16	
6	Rongga terisi aspal (VFA) dalam % berdasarkan lalulintas	>1.000.000 SST	Min	Jangan gunakan untuk lalu lintas berat	65				
		>500.000. SST- <1.000.000 SST	Min		68				
		<500.000 SST	Min		75				
7	Stabilitas Marshall, Kg		Min Maks	200 850		800			180*
8	Flow, mm		Min Maks	2				3*	
				3					
9	Hasil bagi Marshall kg/mm		Min	80		200			
10	Stabilitas sisa, perendaman 24 jam, 60°C, %		Min	75					
11	Rongga dalam campuran (VIM), pada kepadatan mutlak (Gmm),%**	>1.000.000 SST	Min Maks	Jangan digunakan untuk lalu lintas berat	3 5			3 5	
		>500.000- <1.000.000 SST	Min Maks		2 5			2 5	
		<500.000 SST	Min Maks		1 4			1 4	

Catatan:

\*Modifikasi Marshall, diameter mold 15.24 cm. Untuk kondisi kepadatan mutlak gunakan penumbuk getar agar terhindar dari kemungkinan adanya agregat yang pecah.

\*\*Untuk lalu-lintas yang bergerak sangat lambat atau lalu-lintas mengalir yang berat, gunakan kriteria untuk satu tingkat SST (setara sumbu standar) yang lebih tinggi.

Untuk lalu-lintas berat yang khas, penggunaan campuran Laston harus disertai dengan standar pengendalian mutu yang tinggi

Berat jenis efektif agregat dihitung berdasarkan pada berat jenis maksimum dari Metode Rice (AASHTO T-209)

Sumber:DPU (2000), Dissiminasi Spesifikasi Baru,Puslitbang Bandung .

Untuk jumlah sampel keseluruhan dalam penelitian ini, dapat dengan jelas dilihat pada Tabel 3.7 berikut ini.

**Tabel 3.7. Jumlah sampel yang direncanakan**

**TAHAP I**

Jenis sampel	Kadar aspal (%)					Jumlah
	5,5	6	6,5	7	7,5	
Sampel Standar (pasir kali)	2D	2D	2D	2D	2D	10
	2S	2S	2S	2S	2S	10
Sampel Uji (pasir besi)	2D	2D	2D	2D	2D	10
	2S	2S	2S	2S	2S	10
<b>JUMLAH</b>						<b>40</b>

**TAHAP II (kadar aspal optimum)**

Kondisi rendaman	Variasi Agregat halus (%)						Jumlah
	Pasir Besi					Pasir kali	
	-1	-0,5	0	+0,5	+1		
30'	2S	2S	2S	2S	2S	2S	12
3 jam	2S	2S	2S	2S	2S	2S	12
9 jam	2S	2S	2S	2S	2S	2S	12
24 jam	2S	2S	2S	2S	2S	2S	12
48 jam	2S	2S	2S	2S	2S	2S	12
JUMLAH SUB TOTAL							60
JUMLAH TOTAL							100

Keterangan:

Sampel standart adalah sampel pembanding, dengan agregat halus menggunakan pasir kali.

Sampel uji adalah sampel campuran aspal dengan agregat halus menggunakan pasir besi

S = sampel diasumsikan dalam kondisi (*Soaked*) rendaman

D = sampel diasumsikan dalam kondisi (*dry*) kering.

### 3.7. Pengujian Marshall

Pengujian *Marshall* adalah untuk menentukan kadar aspal optimum dari adukan agregat halus, *filler* dan aspal yang digunakan dalam HRA. Dua parameter penting yang ditentukan dalam pengujian ini adalah beban maksimum yang dapat dipikul benda uji sebelum hancur atau *Marshall Stability* dan deformasi sampel sebelum hancur yang disebut *Marshall Flow*, serta turunan dari keduanya yang merupakan perbandingan antara *Marshall Stability* dengan *Marshall Flow* yang disebut sebagai *Marshall Quotient*. Benda uji yang digunakan berupa benda uji silinder dengan tinggi 64 mm (2,5 inch) dan diameter 102 mm (4 inch). Pembebanan dilakukan secara konstan sebesar 50 mm/menit, maka akan diperoleh nilai stabilitas *Marshall* sekaligus nilai *Flow* yang ditunjukkan pada masing-masing dial pengukur dan data-data lainnya seperti VIM, VMA, VFB Gmb, Pbe dan yang lainnya dapat dihitung dengan berdasarkan persamaan yang telah diuraikan sebelumnya dari persamaan 3.1 sampai 3.14.

### 3.8. Pengujian Durabilitas

Daya ikat berkelanjutan dari mortar terhadap agregat kasar dalam campuran bersifat sangat penting bagi kemampuan layanan dari perkerasan lentur. Ini karena salah satu kegagalan perkerasan lentur biasanya terkait dengan masalah kehilangan daya ikat ataupun pengelupasan film aspal dalam campuran.

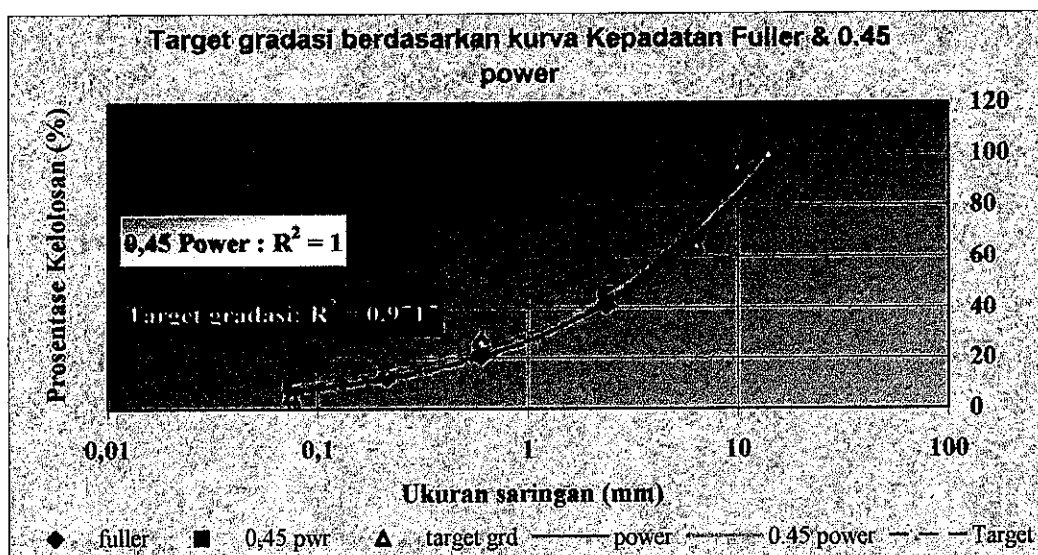
Pengujian durabilitas tidak hanya diperoleh dari hasil Uji Perendaman *Marshall* (*Marshall Immersion Test*) pada rentang waktu 24 jam terhadap waktu perendaman tiga puluh menit dalam *waterbath* dengan suhu 60 °C, yang menghasilkan Indeks Kekuatan Sisa, namun juga dapat diperoleh dari hasil Uji Perendaman *Marshall* dengan rentang waktu yang bervariasi. Variasi lamanya perendaman menurut Krebs, (1971) yang baik adalah selang waktu 30 menit, 3 jam, 9 jam, 24 jam dan 48 jam yang kemudian dijumlah berdasarkan persamaan 3.15 untuk mendapatkan nilai penurunan stabilitasnya terhadap stabilitas pada perendaman 30 menit sehingga diperoleh Indeks Penurunan Stabilitas baik dalam satuan % untuk Indeks Penurunan Stabilitas dengan satuan kg, diperoleh dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan 3.16.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Perencanaan Gradasi Agregat

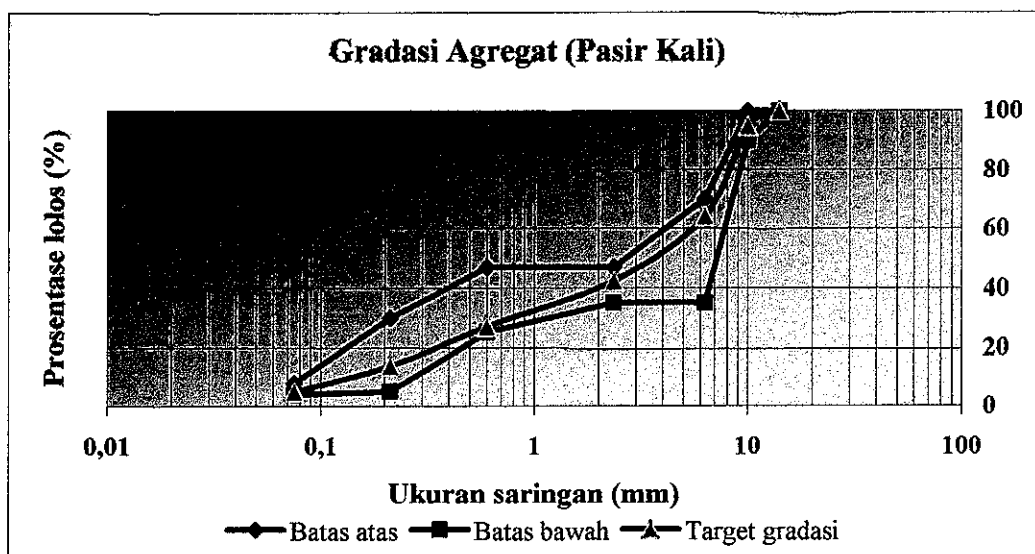
Perencanaan gradasi target agregat yang digunakan pada penelitian ini menggunakan pendekatan grafik kepadatan *fuller* dengan dibantu program komputer. Pendekatan yang dilakukan adalah dengan membuat suatu *trendline* atau garis yang mewakili data-data yang ada, yang mendekati *trendline* dari grafik *fuller* ataupun 0,45 *power* dengan tingkat kepercayaan diatas 95 % dan tetap memperhatikan batas atas ataupun batas bawah dari kolom gradasi yang dipilih. Dan dari hasil *trial and error*, diperoleh target gradasi yang mendekati kurva kepadatan *fuller* dan 0,45 *power* adalah gradasi pada kolom gradasi ¾", seperti yang terlihat pada Gambar 4.1 berupa garis putus-putus.



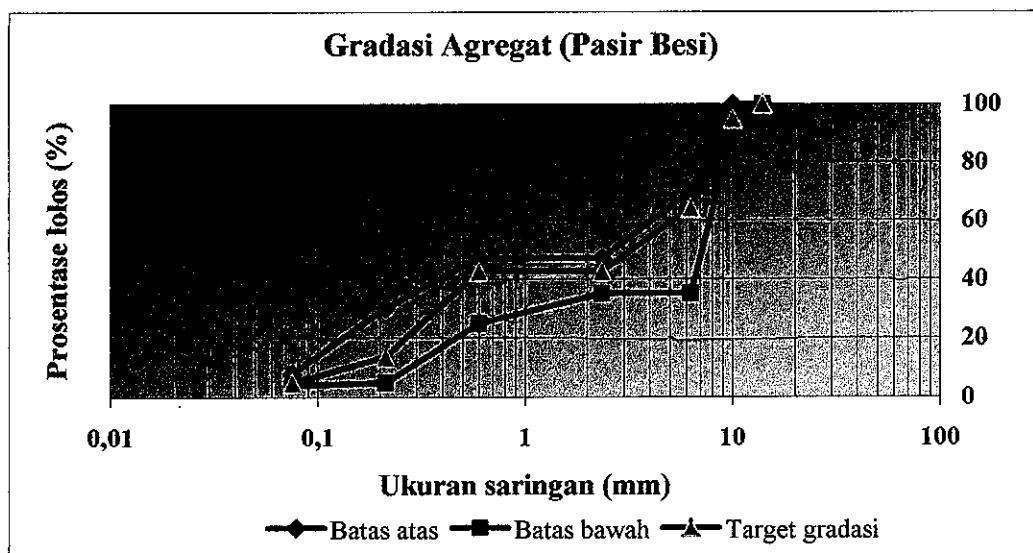
**Gambar 4.1.** Target gradasi berdasarkan kurva kepadatan *fuller* dan 0,45 power

Selanjutnya dibuat suatu grafik gradasi campuran agregat yang dapat dilihat pada Gambar 4.2 untuk gradasi dengan agregat halus pasir kali dan Gambar 4.3 untuk gradasi dengan agregat halus pasir besi. Design campuran agregat untuk agregat halus pasir kali secara keseluruhan dapat memenuhi distribusi agregat sesuai ukuran gradasi yang dipilih. Namun tidak sama halnya dengan campuran agregat untuk agregat halus pasir besi, karena adanya kesenjangan yang diakibatkan oleh tidak

adanya pasir besi pada ukuran saringan uji lolos 2,36 mm dan saringan uji tertahan 0,63 mm, sehingga volume agregat pada interval ukuran dikumulatifkan terhadap ukuran rentang dibawahnya. Namun demikian, distribusi gradasi agregatnya masih memenuhi syarat batas atas maupun batas bawah gradasi kolom ¾" BS 594 ;1992 tipe F. Mengenai perencanaan jumlah material agregat maupun aspal yang digunakan dalam campuran dapat dilihat secara detail pada Lampiran B.



Gambar 4.2. Gradasi agregat untuk agregat halus pasir kali



Gambar 4.3. Gradasi agregat untuk agregat halus pasir besi

#### 4.2. Hasil Pengujian Material Agregat

Hasil-hasil pengujian agregat menunjukkan bahwa baik agregat kasar, agregat halus dan *filler* memenuhi persyaratan dari SNI, BS dan AASHTO. Agregat kasar dari batu kali Singorojo Gunung Pati Semarang ternyata mempunyai nilai berat jenis curah sebesar 2,71 gr/cc atau lebih besar dari batas minimal yang disyaratkan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI) sebesar 2,5 gr/cc, sedangkan penyerapan air sebesar 1,36 % lebih kecil dari syarat maksimum (SNI) sebesar 3 %.

Untuk hasil pengujian keausan agregat kasar dengan menggunakan mesin *Los Angeles*, menunjukkan bahwa agregat kasar yang digunakan tahan terhadap abrasi, ini terlihat dari nilai keausan yang diperoleh yaitu sebesar 23,04 % atau dibawah nilai yang disyaratkan sebesar 40 %, sedangkan nilai kelekatan agregat kasar terhadap aspal, menunjukkan bahwa lebih dari 98 % agregat kasar terselimuti aspal

Uji Indeks Kepipihan yang bertujuan untuk membatasi jumlah agregat yang bersifat pipih dalam suatu campuran menunjukkan bahwa nilai Indeks Kepipihan agregat kasar yang diperoleh adalah sebesar 15,1 %, dibawah batasan maksimum yang disyaratkan sebesar 25 %. Seluruh hasil pengujian terhadap agregat kasar ditampilkan dalam Tabel 4.1.

**Tabel 4.1.** Sifat agregat kasar

Sifat-sifat	Standar pengujian	Unit	Nilai	Spesifikasi
Berat jenis curah	SNI-M-9-1989-F	-	2,709	Min 2,5
Berat jenis SSD	SNI-M-9-1989-F	-	2,745	-
Berat jenis Semu	SNI-M-9-1989-F	-	2,812	-
Penyerapan air	SNI-M-9-1989-F	%	1,36	Maks 3
Abrasi Los Angeles	SNI-M-2-1990-F	%	23,04	Maks 40
Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI-M-28-1990-1	%	>98	Min 95
Indeks kepipihan	BS-812:Part I:1975	%	15,1	Maks 25

Pada pengujian agregat halus, hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa agregat halus pasir besi ternyata memiliki berat jenis dan nilai *sand equivalent* yang lebih besar jika dibandingkan dengan pasir kali asal Muntilan. Nilai berat jenis curah pasir besi adalah sebesar 3,979 gr/cc dengan nilai *sand equivalent* sebesar 90,7 %, sedangkan berat jenis curah pasir kali Muntilan adalah sebesar 2,635 gr/cc dengan nilai *sand equivalent* sebesar 86,67 %. Hal ini menunjukkan, kadar lumpur yang terkandung pada pasir besi relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan pasir kali asal Muntilan. Namun secara keseluruhan nilai berat jenis curah dan *sand equivalent*

kedua jenis agregat halus ini masih memenuhi batas minimum nilai berat jenis curah dan *sand equivalent* yang disyaratkan yaitu sebesar 2,5 gr/cc dan 50 %. Nilai penyerapan air pasir besi sebesar 2,146 % ternyata lebih tinggi jika dibandingkan dengan penyerapan air pada pasir kali yaitu sebesar 1,01 %. Hal ini disebabkan butiran pasir besi cenderung seragam dan berukuran kecil sehingga luas permukaan agregat lebih besar dibandingkan pada pasir kali. Namun kedua jenis agregat halus ini masih memenuhi syarat maksimal penyerapan air yang diperkenankan oleh SNI yaitu sebesar 3 %. Pemeriksaan berat jenis pada *filler* diperoleh nilai sebesar 2,66 gr/cc. Hasil pengujian keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 4.2 dibawah ini dan untuk melihat hasil pengujian laboratorium untuk material agregat kasar, agregat halus dan *filler* secara lebih lengkapnya dapat dilihat pada Lampiran A.

**Tabel 4.2.** Sifat agregat halus dan *filler*

Sifat-sifat	Standar pengujian	Unit	Nilai	Spesifikasi
<b><u>Pasir kali Muntilan</u></b>				
Berat jenis curah	SNI-03-1970-1990-F	-	2,635	Min 2,5
Berat jenis SSD	SNI-03-1970-1990-F	-	2,661	-
Berat jenis Semu	SNI-03-1970-1990-F	-	2,707	-
Penyerapan air	SNI-03-1970-1990-F	%	1,01	Maks 3
Sand equivalent	AASHTO T-1976	%	86,67	Min 50
<b><u>Pasir besi Kutoarjo</u></b>				
Berat jenis curah	SNI-03-1970-1990-F	-	3,979	Min 2,5
Berat jenis SSD	SNI-03-1970-1990-F	-	4,064	-
Berat jenis Semu	SNI-03-1970-1990-F	-	4,345	-
Penyerapan air	SNI-03-1970-1990-F	%	2,146	Maks 3
Sand equivalent	AASHTO T-1976	%	90,7	Min 50
<b><u>Filler</u></b>				
berat jenis curah	SNI-15-2531-1991	Gr/cm3	2,66	

Dari hasil perhitungan berat jenis curah total agregat dan berat jenis efektif total agregat dengan menggunakan Persamaan 3.1 hingga 3.3 untuk masing-masing campuran menunjukkan suatu perbedaan hasil yang menyolok. Untuk lebih jelasnya hasil perhitungan dapat dilihat pada Lampiran C.

Pada campuran dengan agregat halus pasir kali menunjukkan berat curah total agregat adalah sebesar 2,678 gr/cc dengan berat efektif total agregat sebesar 2,721 gr/cc, sedangkan untuk campuran aspal dengan agregat halus pasir besi, berat jenis curah total agregat adalah sebesar 3,073 gr/cc dan berat jenis efektif total agregat adalah 3,151 gr/cc. Hasil perbedaan yang besar ini, sangat dipengaruhi oleh berat jenis dari agregat halus dalam campuran. Besarnya perbedaan dari berat jenis kedua



jenis campuran tersebut, menyebabkan, dasar dalam perencanaan campuran menggunakan kesamaan volume dari masing-masing campuran tersebut. Oleh karena itu, pada campuran dengan agregat halus pasir besi, perlu adanya suatu koreksi volume. Nilai koreksi tersebut merupakan perbandingan dari berat jenis curah pasir besi terhadap berat jenis *filler* yang digunakan, yaitu abu batu dan nilainya adalah 1,496. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada lampiran B.

#### 4.3. Hasil Pengujian Aspal

Aspal merupakan hasil produksi dari bahan-bahan alam sehingga sifat-sifat aspal harus selalu diperiksa di laboratorium dan aspal yang memenuhi syarat dapat dipergunakan sebagai bahan pengikat perkerasan. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut ini dan untuk lebih detail mengenai hasil pengujian di laboratorium dapat dilihat pada Lampiran A.

**Tabel 4.3.** Persyaratan dan hasil pemeriksaan aspal Pertamina 60/70

Jenis pemeriksaan	Spesifikasi		Unit	Hasil
	Min	maks		
1. Penetrasi (25°C, 5 detik)	60	79	0.1 mm	68,5
2. Titik lembek (ring & ball)	48	58	°C	51,5
3. Titik nyala	200	-	°C	343
4. Titik bakar			°C	353
5. Kehilangan berat (163°C, 5 jam)		0,4	% berat	0,1613
6. Kelarutan CCl <sub>4</sub>	99	-	% berat	99,167
7. Daktilitas (25°C, 5 cm/menit)	100	-	cm	>110
8. Penetrasi setelah Kehilangan berat	75	-	% semula	90,365
9. Berat jenis (25°C)	1	-	gr/cc	1,0305

Berdasarkan pada hasil Tabel 4.3 diatas, menunjukkan antara lain bahwa pengujian penetrasi yang diperoleh rata-rata adalah 6,85 mm atau penetrasi 68,5 yang masih didalam range batasan untuk aspal penetrasi 60/70 yaitu antara 60-80. Pemeriksaan lainnya adalah pemeriksaan daktilitas bertujuan untuk mengukur keliatan dari aspal dengan mengukur seberapa jauh aspal dapat dibentangkan tanpa terputus. Besarnya daktilitas aspal yang disyaratkan minimal 100 cm, sedangkan hasil pemeriksaan

daktilitas menunjukkan hasil diatas 110 cm, sehingga dapat dikatakan aspal yang digunakan memenuhi syarat.

Pemeriksaan titik lembek yang bertujuan untuk mengukur batas kekerasan aspal dengan cara membebani dengan bola baja dan memanaskan didalam media air. Dari hasil pengujian diperoleh nilai rata-rata suhu pada kondisi titik lembek adalah sebesar 51,5 °C dan masih dalam rentang batas suhu kondisi titik lembek yang disyaratkan yaitu antara 48-58 °C.

Tujuan pemeriksaan suhu kondisi titik nyala dan titik bakar adalah untuk menentukan suhu dimana aspal mulai mengalami perubahan sifat sebagai akibat pemanasan yang terlalu tinggi serta untuk mengetahui suhu maksimum dalam memanaskan aspal sehingga aspal tidak terbakar. Besarnya titik nyala yang diisyaratkan untuk aspal penetrasi 60/70 minimal sebesar 200 °C dan dari hasil pemeriksaan menunjukkan titik nyala aspal pada suhu 343 °C dan titik bakar pada suhu 353 °C.

Pemeriksaan kehilangan berat pada aspal berguna untuk mengetahui pengurangan berat akibat penguapan unsur-unsur aspal yang mudah menguap dalam aspal. Bila aspal dipanaskan didalam oven pada suhu 163 °C dan dalam waktu 4,5 –5 jam maka akan terjadi reaksi terhadap unsur-unsur yang terdapat dalam aspal, maka sifat aspalpun akan berubah dari sifat aslinya. Salah satunya terlihat dengan berkurangnya berat aspal dari berat semula (sebelum dipanaskan) karena adanya penguapan sebagai akibat adanya reaksi terhadap unsur dalam aspal. Penurunan berat aspal maksimum yang diperkenankan adalah 0,4 % dari berat semula dan hasil pemeriksaan menunjukkan, penurunan berat aspal sebesar 0,163 %, dengan demikian benda uji memenuhi persyaratan.

Pemeriksaan penetrasi setelah kehilangan berat sebagai akibat pemanasan pada jangka waktu tertentu ( $\pm 5$  jam) pada suhu 163 °C adalah salah satu pemeriksaan yang bertujuan mengetahui perubahan atau penurunan sifat aspal. Pada umumnya aspal yang sudah mengalami penurunan berat akan mempunyai angka penetrasi yang lebih kecil dari angka penetrasi sebelumnya, dengan kata lain kekerasannya menjadi meningkat. Namun walaupun kekerasannya meningkat bukan berarti kualitas aspal semakin baik, karena aspal yang telah dipanaskan selama 5 jam dalam suhu yang

cukup tinggi yaitu 163 °C akan mengakibatkan aspal bersifat kurang lentur, dan mudah retak. Hal ini justru akan mengurangi kualitas aspal. Dari pemeriksaan diperoleh % of original atau (% penetrasi setelah kehilangan berat dibandingkan dengan penetrasi semula) sebesar 90,365 %. Dari persyaratan yang ada, % of original untuk penetrasi 60/70 minimal sebesar 75 %. Dengan demikian benda uji masih memenuhi syarat.

Adanya bahan-bahan yang tidak larut dalam *Carbon TetraClorida* ( $\text{CCl}_4$ ), menunjukkan adanya bahan-bahan lain dalam aspal. Dalam pemakaian aspal yang diinginkan, aspal yang baik adalah aspal dalam kondisi tidak tercampur dengan bahan-bahan lain. Persyaratan kelarutan dalam  $\text{CCl}_4$  untuk aspal penetrasi 60/70 minimal sebesar 99 %. Dari hasil pemeriksaan menunjukkan kelarutan aspal dalam  $\text{CCl}_4$  adalah sebesar 99,167 %. Dengan hasil diatas nilai yang disyaratkan menunjukkan aspal tersebut masih murni dan sedikit mengandung bahan lain selain aspal.

Berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat aspal dengan berat air suling dengan isi yang sama. Persyaratan yang ditetapkan untuk berat jenis aspal adalah minimal 1 gr/cc. Dari hasil pemeriksaan aspal diperoleh berat jenis 1,0305 gr/cc sehingga dapat dikatakan, aspal Pertamina yang digunakan dalam penelitian ini masih memenuhi syarat sebagai bahan ikat campuran HRA.

#### **4.4. Hasil Analisa Marshall**

Pengujian *Marshall* dilakukan dalam dua tahap yang berbeda. Tahap pertama adalah untuk mencari kadar aspal optimum dan tahap kedua adalah mencari nilai karakteristik *Marshall* dan durabilitas campuran pada kondisi aspal optimum.

Pada bagian pembahasan ini, yang dianalisa adalah hasil pengujian pada tahap pertama. Pembuatan benda uji pada tahap ini adalah menyiapkan dua jenis sampel untuk masing-masing kondisi yang berbeda, yaitu kondisi *soaked* dan kondisi *dry*, dengan kadar aspal antara 5,5 % hingga 7,5 % dan interval 0,5 %. Dengan menggunakan persamaan 3.5 hingga 3.14 serta hasil pengujian *Marshall* diperoleh nilai variabel meliputi antara lain nilai stabilitas, *flow*, kepadatan campuran, penyerapan aspal, kadar aspal efektif, VIM, VMA, VFB, *Marshall Quotient*, Indeks Kekuatan Sisa serta nilai *dust proportion* seperti terlampir pada Lampiran C.

Namun yang ditampilkan pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5 adalah nilai rata-rata dari beberapa parameter *Marshall* tertentu seperti stabilitas, *flow*, VIM, VMA, VFB, *Marshall Quotient (MQ)*, baik untuk campuran aspal dengan agregat halus pasir kali maupun agregat halus pasir besi.

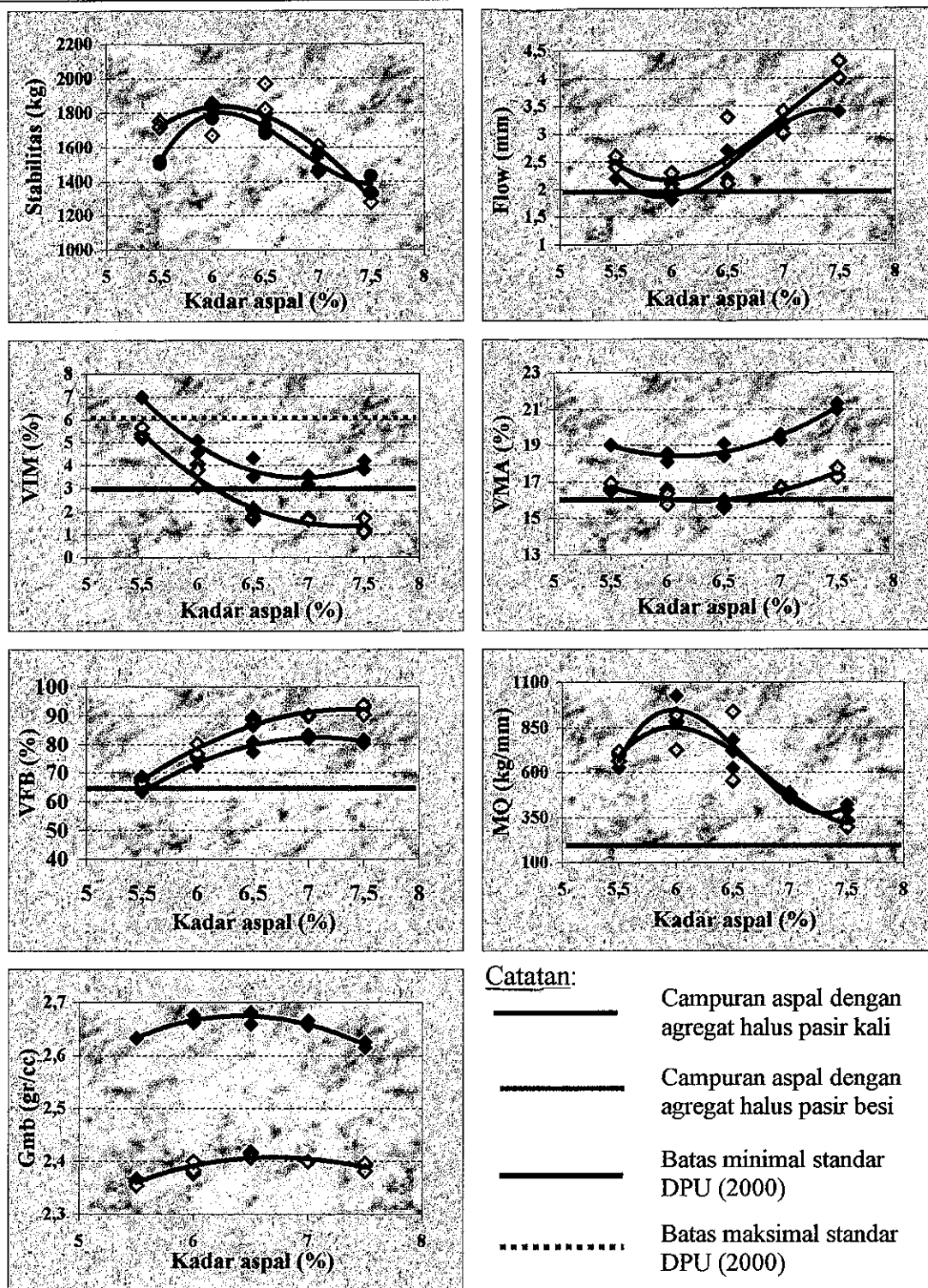
**Tabel 4.4.** Nilai rata-rata karakteristik *Marshall* pada campuran aspal dengan agregat halus pasir kali

Kadar aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Gmb (gr/cc)	MQ (kg/mm)
5,5	1731,509	2,5	5,404	16,689	67,625	2,361	693,352
6,0	1784,49	2,13	3,644	16,218	77,576	2,387	841,244
6,5	1863,851	2,63	1,851	15,743	88,25	2,414	736,667
7,0	1543,405	3,26	1,666	16,653	89,994	2,4	472,991
7,5	1310,347	4,1	1,352	17,443	92,477	2,39	320,159

**Tabel 4.5.** Nilai rata-rata karakteristik *Marshall* pada campuran aspal dengan agregat halus pasir besi

Kadar aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Gmb (gr/cc)	MQ (kg/mm)
5,5	1511,79	2,3	6,979	19,024	63,315	2,633	658,7
6,0	1806,846	1,85	4,82	18,338	73,732	2,669	977,995
6,5	1702,96	2,45	3,914	18,743	79,153	2,67	703,28
7,0	1514,634	3,15	3,361	19,444	82,722	2,662	480,696
7,5	1382,764	3,4	4,014	21,127	81	2,62	406,695

Selanjutnya dari hasil perhitungan tersebut, kemudian dibuat suatu grafik seperti yang terlihat pada Gambar 4.4, yang mewakili nilai parameter *Marshall* tersebut guna mempermudah analisa yang akan dilakukan serta dalam mendapatkan kadar aspal optimum. Grafik tersebut menggambarkan hubungan variabel kadar aspal terhadap variabel karakteristik *Marshall* antara lain, stabilitas, *flow*, VIM, VMA, VFB, *Marshall Quotient (MQ)* dan kepadatan campuran (Gmb).



**Gambar 4.4** Perbandingan hasil uji *Marshall* untuk campuran aspal dengan agregat halus pasir kali dan campuran aspal dengan agregat halus pasir besi

#### 4.4.1. Analisa Stabilitas dan *Flow*

Stabilitas adalah kemampuan lapis keras untuk menahan deformasi yang disebabkan beban lalu lintas yang bekerja di atasnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada tinjauan kadar aspal yang sama, nilai stabilitas pada campuran aspal dengan agregat halus pasir kali, semakin besar pada rentang kadar aspal 5,5 % – 6 % dan selanjutnya pada kadar aspal diatas 6 %, nilai stabilitas campuran semakin menurun Begitu pula halnya dengan campuran yang menggunakan agregat halus pasir besi.

Pada Gambar 4.4 diatas, menunjukkan bahwa persamaan regresi yang ditunjukkan dalam bentuk garis *trendline*, mencerminkan bahwa pada campuran dengan agregat halus pasir kali Muntian memiliki stabilitas tertinggi pada kadar aspal 6,085 % dengan nilai stabilitas 1839,39 kg. Sedangkan pada campuran aspal yang menggunakan agregat halus pasir besi. Dari persamaan *trendline* tersebut, diperoleh nilai stabilitas tertinggi pada kadar aspal 6,094 % dengan nilai stabilitas 1800,62 kg. Nilai stabilitas kedua jenis campuran ini, masih diatas persyaratan nilai minimum stabilitas untuk lalu-lintas berat yang disyaratkan oleh Puslitbang Bandung (DPU, 2000) sebesar 800 kg.

Sedangkan nilai *flow* pada campuran, yang juga ditunjukkan dalam bentuk garis regresi *trendline*, menunjukkan bahwa pada campuran aspal dengan agregat halus pasir kali mempunyai nilai *flow* terendah yang diperoleh pada kadar aspal 5,94 % dengan nilai *flow* 2,183 mm. Sedangkan pada campuran yang menggunakan agregat halus pasir besi, diperoleh nilai *flow* terendah sebesar 1,877 mm pada kadar aspal 5,917 %. Pada campuran aspal dengan agregat pasir kali, secara keseluruhan memenuhi nilai minimum *flow* yang disyaratkan oleh Puslitbang Bandung (DPU, 2000) sebesar 2 mm. Namun tidak demikian halnya dengan campuran yang menggunakan agregat halus pasir besi. Pada selang kadar aspal 5,678 s/d 6,167 %, nilai *flow* yang diperoleh lebih rendah dari nilai minimum *flow* yang disyaratkan .

Ada suatu gejala yang menarik untuk dianalisa, dimana stabilitas pada campuran aspal dengan agregat halus pasir kali lebih tinggi dari pada campuran aspal dengan agregat halus pasir besi, namun nilai *flow* campuran aspal dengan agregat halus pasir kali justru lebih tinggi dari campuran aspal dengan agregat halus pasir besi. Hal ini menunjukkan bahwa gaya gesek (*internal friction*) antar agregat pada campuran

aspal dengan agregat halus pasir besi lebih rendah, kemungkinan disebabkan oleh distribusi agregat halus pasir besi pada gradasi agregat yang cenderung lebih banyak berbutir halus. Hal ini disebabkan tidak adanya distribusi agregat halus lolos uji saringan ukuran 2,36 mm dan tertahan uji saringan ukuran 0,63 mm, seperti yang ditunjukkan sebelumnya pada grafik gradasi campuran aspal untuk agregat halus pasir besi pada Gambar 3.4. Banyaknya butiran halus pada campuran aspal, cenderung menyebabkan terjadinya media gelincir sehingga mengurangi nilai stabilitas selain itu nilai absorpsi dari pasir besi yang tinggi menyebabkan kurangnya ikatan kohesi aspal menjadi lemah pada campuran aspal dengan agregat halus pasir besi jika dibandingkan dengan pada kondisi kadar aspal yang sama pada campuran aspal dengan agregat halus pasir kali. Hal ini ditunjukkan dengan nilai *flow* yang lebih rendah pada campuran aspal dengan agregat halus pasir besi. Semakin banyak butiran halus pada campuran aspal, luas permukaan agregat yang harus terselimuti aspal menjadi semakin luas, sehingga pada kadar aspal yang sama, aspal yang menyelimuti agregat pada campuran aspal dengan agregat halus pasir besi menjadi lebih tipis, jika dibandingkan dengan campuran dengan agregat halus pasir kali, sehingga berpengaruh terhadap ikatan kohesi aspal ataupun adhesi antara aspal dan agregat. Hal ini terlihat pada hasil pengujian nilai penyerapan air oleh pasir besi lebih tinggi yaitu 2,146 % sedangkan pasir kali 1,01 % dan nilai penyerapan aspal dari hasil perhitungan menggunakan Persamaan 3.8, diperoleh nilai penyerapan aspal pada campuran aspal dengan agregat halus pasir besi adalah sebesar 0,831 % sedangkan pada campuran aspal dengan agregat halus pasir kali diperoleh nilai 0,608 %. Untuk lebih jelasnya hasil perhitungan dapat dilihat pada Lampiran C.

#### **4.4.2. Analisa Rongga Udara (*air void*)**

Ada beberapa rongga udara yang mempengaruhi campuran aspal, antara lain rongga dalam campuran (*Void In the Mix*), rongga udara dalam mineral agregat (*Void in the Mineral Agregate*) dan rongga udara terisi aspal (*Void Fill Bitumen*).

Nilai VIM menunjukkan banyaknya rongga yang ada dalam campuran. Faktor yang mempengaruhi nilai VIM antara lain, gradasi agregat, kadar aspal, dan jenis aspal, energi pemadatan (jumlah tumbukan) suhu pemadatan. Kandungan rongga dalam campuran biasanya berhubungan dengan ketahanan campuran. Nilai VIM

yang lebih kecil akan mengakibatkan campuran menjadi lebih kedap air, dimana hal ini akan meningkatkan ketahanan campuran terhadap pengerasan aspal dan pengelupasan partikel.

Dari hasil pengujian yang dilakukan, ternyata nilai VIM terendah pada campuran aspal dengan agregat halus pasir kali adalah 1,369 % pada kadar aspal 7,31 %, sehingga dengan demikian rentang kadar aspal kurang dari 6,14 %, tidak dapat memenuhi persyaratan nilai minimum VIM yang disyaratkan oleh DPU, Puslitbang Bandung (2000) sebesar 3 %.

Sebaliknya untuk campuran aspal dengan agregat halus pasir besi, nilai VIM yang tidak memenuhi batas maksimum sebesar 6 % adalah pada rentang kadar aspal di bawah 5,71 %.

VMA atau lebih dikenal dengan rongga dalam agregat merupakan salah satu parameter penting yang dipertimbangkan dalam rancangan campuran aspal, karena pengaruhnya terhadap ketahanan dari campuran aspal. Didalam suatu campuran aspal, dihindari penggunaan nilai VMA yang terlalu tinggi, karena akan menyebabkan campuran cenderung porous, sehingga dalam perencanaan campuran beraspal, juga perlu memperhatikan parameter-parameter *Marshall* yang lain. Untuk jenis lapis konstruksi campuran HRA, batasan minimum nilai VMA diambil 16 %, seperti pada lapisan laston dalam Dersiminasi Spesifikasi Baru dari Puslitbang Bandung (DPU, 2000).

Pada penelitian tahap ini, nilai VMA pada campuran aspal dengan agregat halus pasir kali ternyata mempunyai nilai minimum VMA sebesar 15,946 % pada kadar aspal 6,31 %, sedang pada campuran aspal dengan agregat halus pasir besi mempunyai nilai VMA minimum, pada kadar aspal 6,119 % dengan nilai VMA 18,406 %. Namun demikian pada rentang kadar aspal 6,071 % – 6,532 %, nilai VMA pada campuran aspal dengan agregat halus pasir kali ternyata tidak memenuhi batas minimum yang disyaratkan sebesar 16 %. Sedangkan pada campuran aspal dengan agregat halus pasir besi, seluruhnya memenuhi batas minimum nilai VMA yang disyaratkan.

VFB atau sering disebut sebagai kandungan rongga terisi aspal, merupakan petunjuk prosentase rongga dalam campuran yang terisi aspal. Nilai VFB erat kaitannya dengan kekuatan ikatan campuran, kedapannya campuran terhadap air dan



udara, maupun sifat elastis campuran. faktor yang mempengaruhi nilai VFB antara lain gradasi agregat, suhu pemadatan, kadar aspal, jenis aspal dan energi pemadatan (jumlah tumbukan). Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai VFB maksimum pada campuran aspal dengan agregat halus pasir kali adalah 92,11 % pada kadar aspal 7,373 %, sedangkan pada campuran dengan agregat halus pasir besi, nilai VFB maksimum diperoleh pada kadar aspal 7,087 % sebesar 82,4 %, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran C.

Secara keseluruhan, campuran aspal dengan agregat halus pasir besi mempunyai nilai VFB diatas batas minimum yang disyaratkan oleh Puslitbang Bandung (DPU, 2000) sebesar 65 % untuk lalu lintas berat. Sedangkan untuk campuran aspal dengan agregat halus pasir besi, ternyata mempunyai Nilai VFB dibawah batas minimum yaitu pada rentang kadar aspal dibawah 5,57 %.

Dari gambaran tersebut diatas, menggambarkan bahwa gradasi agregat, mempengaruhi nilai rongga udara dalam campuran aspal. Tingginya nilai VIM pada campuran aspal dengan agregat halus pasir besi disebabkan oleh banyaknya butiran halus dalam distribusi gradasi agregat. Rongga dalam campuran yang semestinya diisi oleh agregat lolos saringan uji ukuran 2,36 mm dan tertahan saringan uji ukuran 0,63 mm beserta aspal, ternyata diisi oleh agregat butiran halus dibawah ukuran 0,63 mm, sehingga timbul rongga dalam campuran. Selain itu, banyaknya butiran halus, menyebabkan luas permukaan agregat halus menjadi semakin besar dan rongga dalam agregat secara komulatif menjadi semakin besar pula. Namun ukurannya yang halus menyebabkan rongga sulit terisi aspal. Hal ini dapat dilihat bahwa nilai VFB pada campuran dengan pasir kali lebih tinggi dibandingkan dengan campuran aspal dengan agregat halus pasir besi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran C.

#### **4.4.3. Analisa *Marshall Quotient (MQ)***

*Marshall Quotient (MQ)* adalah indikator terhadap peluang kehancuran. Nilai ini diperoleh dari hasil bagi antar nilai stabilitas dan nilai *flow* dengan satuan kg/mm. Dari hasil perhitungan dengan menggunakan Persamaan 3.13, diperoleh nilai *Marshall Quotient* antar kedua jenis campuran, yaitu untuk campuran aspal dengan menggunakan agregat halus pasir kali, diperoleh nilai maksimum *Marshall Quotient* sebesar 850,35 kg/mm pada kadar aspal 5,974 %, sedangkan pada campuran yang

menggunakan agregat halus pasir besi, diperoleh nilai maksimum *Marshall Quotient* yang lebih tinggi yaitu sebesar 944,79 kg/mm pada kadar aspal 5,978 %, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran C. Nilai kedua jenis campuran tersebut, mempunyai nilai diatas batas minimum yang disyaratkan oleh Puslitbang Bandung (DPU, 2000) yaitu sebesar 200 kg/mm.

#### **4.4.4. Analisa Kepadatan Campuran (Gmb)**

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan Persamaan 3.6 diperoleh nilai kepadatan campuran aspal dengan agregat halus pasir besi ternyata lebih besar jika dibandingkan dengan campuran aspal dengan agregat halus pasir kali, yaitu sebesar 2,67 gr/cc pada kadar aspal 6,376 %, sedangkan pada campuran pasir kali nilai kepadatan campurannya sebesar 2,421 gr/cc pada kadar aspal 6,796 %. Hal ini disebabkan berat jenis pasir besi yang lebih berat dari pada pasir kali, sehingga pada volume yang sama berat sampel dengan agregat halus pasir besi jauh lebih berat dibandingkan sampel dengan pasir kali, sehingga berat campuran yang tinggi pada volume campuran yang sama menyebabkan nilai kepadatan campuran menjadi tinggi. Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran C.

#### **4.4.5. Analisa Penyerapan Aspal dan Kadar Aspal Efektif**

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan Persamaan 3.8 dan 3.9, diperoleh nilai penyerapan aspal yang terjadi serta kadar aspal efektif yang menyelimuti campuran, baik campuran dengan agregat halus pasir kali ataupun agregat halus pasir besi sebagai berikut:

- \* Penyerapan aspal untuk campuran dengan agregat halus pasir besi adalah sebesar 0,831 %, sedangkan penyerapan aspal untuk campuran dengan agregat halus pasir kali diperoleh nilai 0,608 %. Besarnya nilai penyerapan aspal pada pasir besi sangat dipengaruhi oleh berat jenis efektif total agregat pada campran dengan agregat halus pasir besi serta besarnya penyerapan dari pasir besi.
- \* Untuk kadar aspal efektif masing-masing campuran, dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut ini. Hasil perhitungan untuk peyerapan aspal maupun kadar aspal efektif lebih detailnya dapat dilihat pada Lampiran C.

**Tabel 4.6.** Kadar aspal efektif masing-masing campuran

Kadar aspal	Kadar aspal efektif (%)	
	Ps Besi	Ps Kali
5,5	4,714	4,925
6	5,219	5,428
6,5	5,723	5,932
7	6,227	6,434
7,5	6,731	6,938

Kecilnya nilai kadar aspal efektif yang dari campuran aspal dengan agregat halus pasir besi disebabkan korelasi langsung terhadap nilai penyerapan aspal yang terjadi. Semakin besar penyerapan aspal, semakin kecil nilai kadar aspal efektif dalam campuran.

#### **4.4.6. Analisa Indeks Kekuatan Sisa**

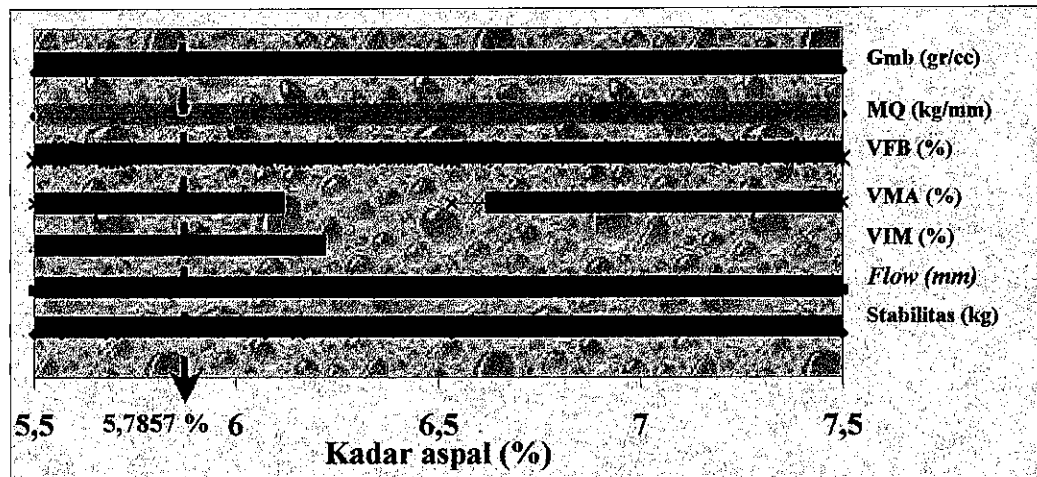
Nilai Indeks Kekuatan Sisa diperoleh dengan membandingkan antara nilai stabilitas pada kondisi perendaman dalam *waterbath* dalam suhu 60 °C selama tiga puluh menit dengan kondisi perendaman yang sama selama 24 jam atau persamaannya dapat dilihat pada Persamaan 3.14. Pengurangan stabilitas yang terjadi akibat rentang waktu perendaman tersebut tidak boleh kurang dari 75 %. Hal ini dimaksudkan agar campuran aspal yang telah dipadatkan mampu menahan kerusakan akibat pengaruh lingkungan ataupun beban lalu-lintas. Nilai stabilitas sisa campuran aspal, baik yang menggunakan agregat halus pasir kali ataupun pasir besi dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut ini.

**Tabel 4.7.** Nilai Indeks Kekuatan Sisa campuran aspal

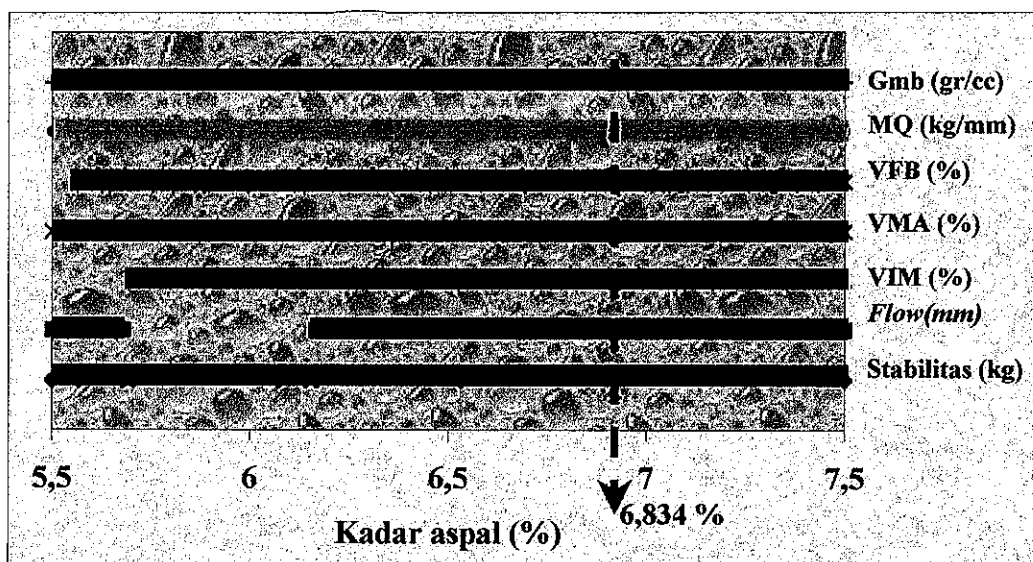
Kadar aspal (%)	Nilai stabilitas sisa (%)	
	Pasir besi	Pasir kali
5,5	88,310	92,019
6	82,902	89,610
6,5	88,109	94,850
7	86,935	95,477
7,5	91,695	91,463

#### 4.4.7. Analisa Kadar Aspal Optimum

Dari persamaan yang mewakili garis *trendline* tersebut kemudian dibuat grafik batang yang menggambarkan hubungan kadar aspal dengan nilai parameter karakteristik *Marshall*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 untuk mempermudah memperkirakan kadar aspal optimum yang akan digunakan dalam campuran aspal untuk tahap selanjutnya.



Gambar 4.5. Grafik kadar aspal optimum campuran aspal dengan agregat halus pasir kali



Gambar 4.6. Grafik kadar aspal optimum campuran aspal dengan agregat halus pasir besi

Pada kedua Gambar 4.5 dan 4.6, menunjukkan bahwa campuran aspal dengan agregat halus pasir kali ternyata menunjukkan nilai kadar aspal optimum sebesar 5,785 %. Nilai ini lebih rendah dari kadar aspal optimum campuran aspal dengan agregat halus pasir besi, yaitu sebesar 6,834 %. Nilai kadar aspal optimum pada campuran aspal dengan agregat halus pasir kali, sangat dipengaruhi nilai VMA yang relatif rendah. Sebaliknya, pada campuran aspal dengan agregat halus pasir besi sangat dipengaruhi oleh nilai *flow* campuran.

#### 4.5. Pengujian Durabilitas

Tujuan pada tahap kedua ini adalah mendapatkan suatu nilai korelasi yang menghubungkan pengaruh lama perendaman terhadap dua jenis campuran serta pengaruh terhadap variasi penambahan agregat halus dalam suatu campuran terkait pada nilai stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient* dan Indeks Penurunan Stabilitas terlihat pada Tabel 4.8 dan Tabel 4.9.

**Tabel 4.8.** Durabilitas campuran aspal dengan agregat halus pasir besi

Variasi Agregat Halus (%)	Variasi perendaman (jam)	Stabilitas (kg)	Prosentase Stabilitas	Flow (mm)	Marshall Quotient (kg/mm)	Penurunan Stabilitas (%)	Indeks penurunan Stabilitas (%)	Indeks Penurunan Stabilitas (Kg)
0	0,5	1.649,056	100,000	2,95	547,422	0	2,0561	33,9065
	3	1.624,626	98,519	3,1	509,376	0,5926		
	9	1.575,765	95,556	3,3	460,428	0,5229		
	24	1.465,828	88,889	3,6	392,238	0,4728		
	48	1.282,599	77,778	4,2	297,372	0,4678		
1	0,5	1.575,765	100,000	3	492,312	0	2,1936	34,5667
	3	1.551,335	98,450	3,35	451,539	0,6202		
	9	1.490,258	94,574	3,6	399,803	0,6384		
	24	1.404,752	89,147	3,7	362,943	0,4618		
	48	1.221,523	77,519	4,45	265,268	0,4733		
-1	0,5	1.551,335	100,000	3,25	479,407	0	2,2112	34,304
	3	1.526,904	98,425	3,5	434,024	0,6299		
	9	1.465,828	94,488	3,7	381,473	0,6484		
	24	1.392,537	89,764	4	336,006	0,4356		
	48	1.184,878	76,378	4,65	246,628	0,4973		
0,5	0,5	1.661,272	100,000	2,7	589,218	0	2,4529	40,75
	3	1.624,626	97,794	3	525,391	0,8823		
	9	1.575,765	94,853	3,15	478,777	0,6055		
	24	1.465,828	88,235	3,55	404,666	0,5006		
	48	1.294,815	77,941	4,15	299,427	0,4644		

**Tabel 4.8.** Durabilitas campuran aspal dengan agregat halus pasir besi (lanjutan)

-0,5	0,5	1.587,980	100,000	3,25	467,191	0	1,8979	30,1386
	3	1.563,550	98,462	3,4	445,907	0,6154		
	9	1.526,904	96,154	3,5	417,336	0,4525		
	24	1.441,397	90,769	3,85	361,542	0,3928		
	48	1.258,169	79,231	4,4	270,872	0,4372		

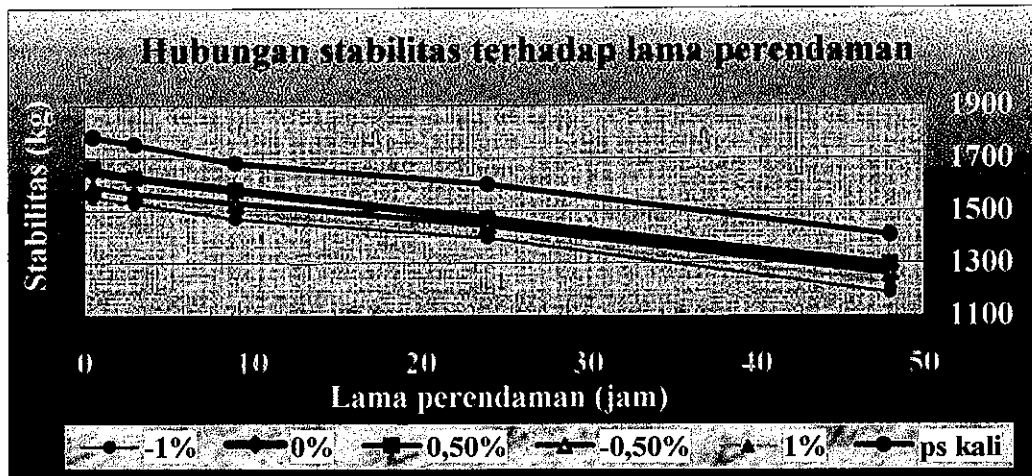
**Tabel 4.9.** Durabilitas campuran aspal dengan agregat halus pasir kali

Variasi agregat Halus (%)	Variasi perendaman (jam)	Stabilitas (kg)	Prosentase Stabilitas (%)	Flow (mm)	Marshall Quotient (kg/mm)	Penurunan stabilitas (%)	Indeks penurunan Stabilitas (%)	Indeks penurunan Stabilitas (Kg)
0%	0,5	1.782,066	100,000	2,4	744,096	0	2,1709	38,6868
	3	1.754,413	98,448	2,5	703,568	0,6207		
	9	1.680,988	94,328	2,8	601,145	0,6673		
	24	1.598,766	89,714	3,3	484,835	0,4377		
	48	1.405,209	78,853	4,3	327,500	0,4452		

Pada tahapan ini, variabel yang diperoleh serupa dengan tahapan pertama, namun dengan tambahan variabel Indeks Penurunan Stabilitas dalam satuan prosentase maupun kilogram yang dapat dilihat jelas pada Lampiran D dan Lampiran E.

#### 4.5.1. Pengaruh Terhadap Stabilitas

Nilai stabilitas dari suatu perkerasan menunjukkan besarnya kemampuan dari lapis perkerasan untuk menahan deformasi akibat adanya beban lalu-lintas yang bekerja pada lapis perkerasan tersebut. Hasil pengujian stabilitas terhadap lamanya perendaman dalam *waterbath* pada suhu 60 °C, dapat dilihat pada Gambar 4.7. berikut ini.



**Gambar 4.7.** Grafik hubungan stabilitas terhadap lama perendaman

Dari gambar tersebut diatas, dapat dilihat bahwa stabilitas pada campuran aspal dengan agregat halus pasir kali ternyata lebih tinggi jika dibandingkan dengan campuran aspal dengan agregat halus pasir besi pada waktu perendaman yang sama.

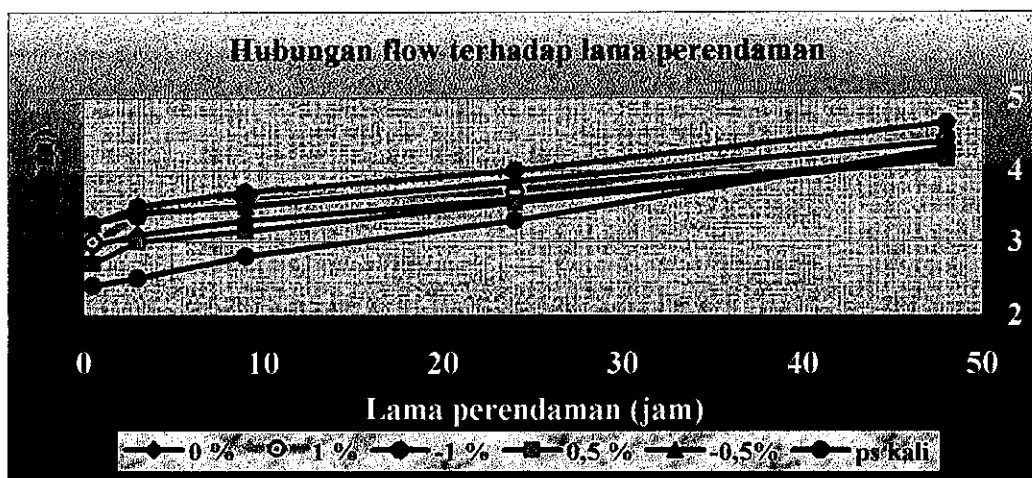
Penambahan variasi agregat halus pasir besi pada campuran aspal, ternyata menunjukkan kenaikan nilai stabilitas yang berbeda-beda. Penambahan variasi 0,5 % agregat halus pasir besi ternyata mempunyai stabilitas yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan stabilitas pada campuran yang tidak ditambah dengan agregat halus pasir besi.. Selanjutnya, pada penambahan 1 %, stabilita semakin menurun, sedangkan pada variasi pengurangan valume agregat halus lain, juga menunjukkan penurunan stabilitas jika dibandingkan dengan campuran yang tidak ditambah ataupun dikurangi volume agregat halusnya. Penurunan stabilitas terendah terjadi pada penambahan agregat halus -1 %, +1 % dan -0,5 %.

Pada penambahan volume 0,5 %, gradasi agregat masih memberikan ruang yang cukup untuk terselimuti aspal dengan baik dan ketebalan penyalutan aspal yang cukup, namun dengan semakin bertambahnya volume agregat halus, ketebalan aspal yang menyelimuti agregat menjadi semakin tipis sehingga mengurangi ikatan adhesi antara aspal dengan agregat. Sebaliknya, pengurangn volume agregat halus menyebabkan aspal yang menyelimuti aspal menjadi semakin besar dan ketebalan aspal yang menyelimuti agregat menjadi semakin tebal, hal ini ditunjang dengan lama perendaman yang dilakukan dalam *waterbath* pada suhu 60 °C, menyebabkan

terjadi tegangan (adanya tekanan air) sehingga air akan masuk kedalam pori-pori campuran aspal, sehingga akan mempengaruhi sifat adhesi campuran dan sifat kohesi aspal. Sedangkan aspal sendiri cenderung bersifat termoplastik, yaitu akan berubah sifatnya oleh adanya perubahan suhu. Dalam proses perendaman ini, aspal akan melembek yang akan mengakibatkan ikatan antar agregat menjadi jelek sehingga campuran mengalami perlemahan. Hal ini ditunjukkan dengan nilai stabilitas yang semakin rendah seiring lamanya perendaman.

#### 4.5.2. Pengaruh Terhadap *Flow*

*Flow* menunjukkan besarnya deformasi dari campuran akibat beban yang bekerja pada perkerasan. Hasil pengujian untuk *flow* dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Grafik hubungan kelelahan terhadap lama perendaman

Dari Gambar 4.8. terlihat bahwa nilai *flow* terendah dicapai oleh campuran aspal dengan agregat halus pasir kali, kemudian dilanjutkan oleh campuran dengan agregat halus pasir besi dengan variasi 0 %; 0,5%; -0,5%; -1% dan +1%. Nilai *flow* antara penambahan variasi -0,5% dan -1% besarnya hampir sama.

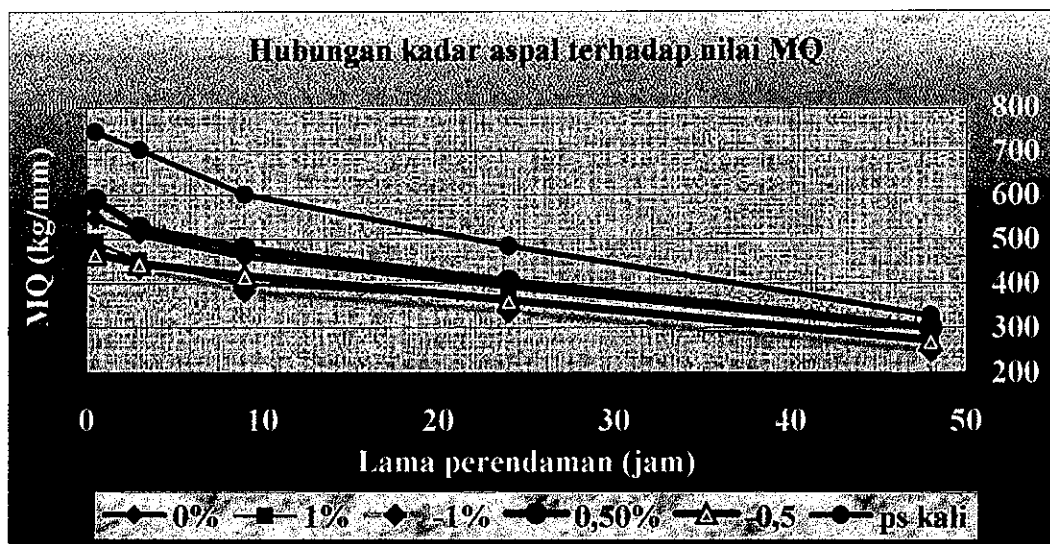
Secara keseluruhan pada campuran aspal baik dengan agregat halus pasir kali maupun pasir besi menunjukkan kecenderungan nilai *flow* yang semakin tinggi seiring lamanya perendaman. Hal ini disebabkan pada lama perendaman 48 jam



dengan suhu 60 °C, aspal semakin lembek yang berakibat ikatan antar agregat semakin lemah sehingga beda uji ini mudah mengalami deformasi.

#### 4.5.3. Pengaruh Terhadap Nilai *Marshall Quotient* (MQ)

Nilai *Marshall Quotient* (MQ) merupakan pendekatan terhadap tingkat kekakuan dan fleksibilitas suatu campuran. Campuran dengan nilai *Marshall Quotient* rendah, menunjukkan campuran bersifat fleksibel, namun mempunyai kecenderungan mudah mengalami deformasi yang besar pada saat menerima beban. Hal sebaliknya terjadi jika nilai *Marshall Quotient* campuran terlalu tinggi. Dengan menggunakan persamaan 3.13 maka diperoleh nilai *Marshall Quotient* untuk kedua jenis campuran tersebut yang selanjutnya dikorelasikan terhadap lama perendaman yang terjadi seperti yang terlihat pada Gambar 4.9 berikut ini



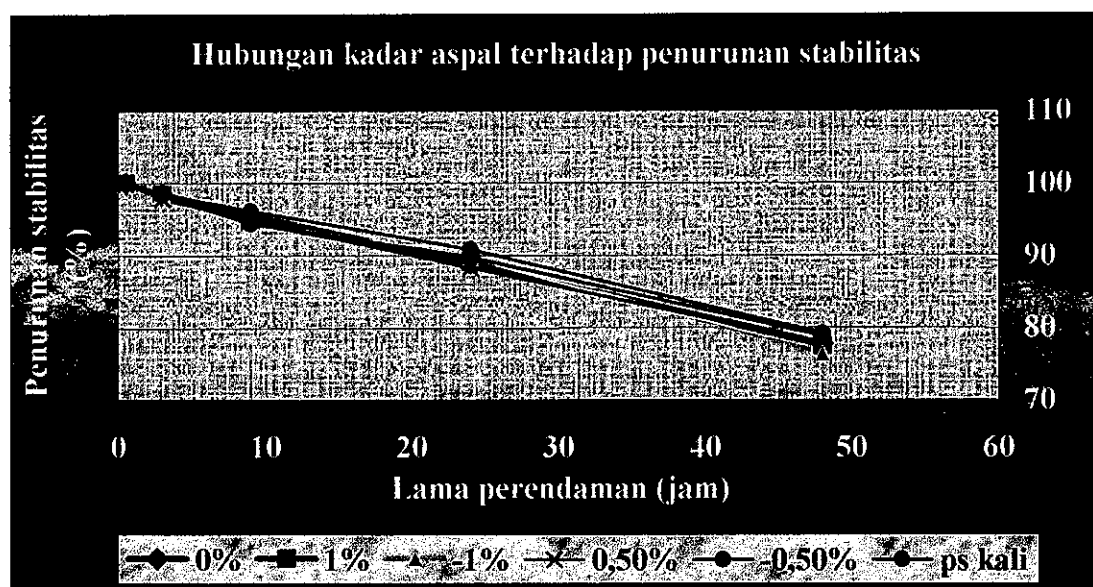
**Gambar 4.9** Grafik pengaruh lama perendaman terhadap nilai *Marshall Quotient*

Dari Gambar 4.9 tersebut diatas, menunjukkan bahwa nilai *Marshall Quotient* untuk campuran aspal dengan agregat halus pasir kali, masih lebih tinggi jika dibandingkan dengan campuran aspal dengan agregat halus pasir besi. Variasi penambahan agregat halus pada campuran aspal ternyata memberikan pengaruh terhadap nilai *Marshall Quotient*, karena hal ini sangat terkait terhadap nilai stabilitas dan nilai *flow* campuran aspal pada masing-masing variasi penambahan agregat halus

pasir besi. Nilai tertinggi *Marshall Quotient* hingga yang terendah berturut-turut dicapai pada penambahan variasi agregat halus 0,5 %; 0 %; 1 %; -0,5 % dan -1 %. Hal ini menunjukkan bahwa, penambahan volume agregat halus sebesar 0,5 %, ternyata memberikan nilai kekakuan yang lebih baik jika dibandingkan dengan penambahan dan pengurangan variasi volume agregat halus lainnya.

#### 4.5.4. Pengaruh Terhadap Indeks Penurunan Stabilitas

Durabilitas secara umum diartikan sebagai kemampuan lapis perkerasan untuk menahan terjadinya disintegrasi karena pengaruh cuaca, air dan perubahan suhu ataupun keausan akibat gesekan dengan roda kendaraan. Analisa sifat tahan lama ( *durable*) terhadap campuran, hanya terbatas pada sifat tahan lama terhadap air dan suhu yang ditunjukkan oleh nilai R (faktor kehilangan stabilitas) atau disebut Indeks Penurunan Stabilitas. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.10 dibawah ini.

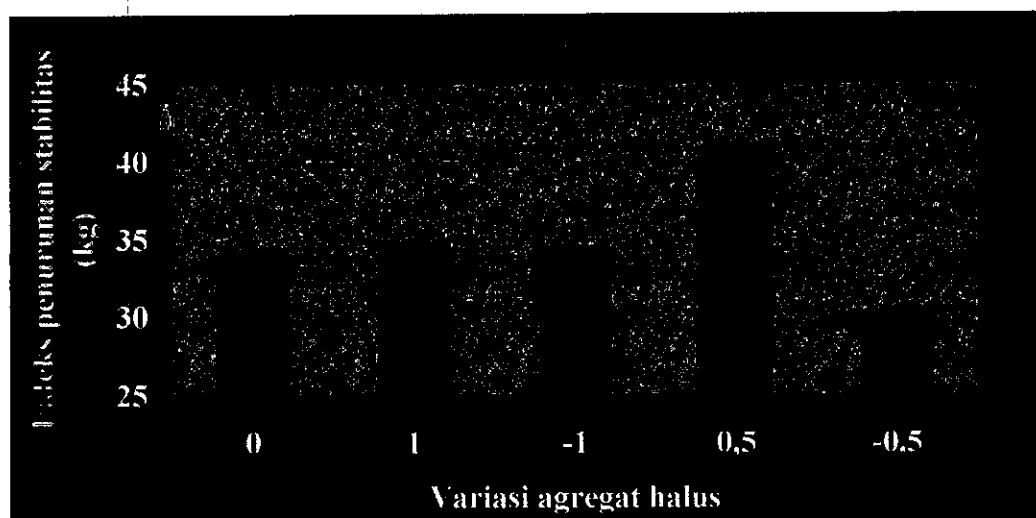


**Gambar 4.10.** Grafik pengaruh lama perendaman terhadap penurunan stabilitas campuran.

Dari Gambar 4.10 diatas, terlihat bahwa Indeks Penurunan Stabilitas dalam satuan prosentase yang terjadi pada kedua jenis campuran tersebut (pasir kali dan pasir besi) hampir sama, hal ini ditunjukkan pada nilai Indeks Penurunan Stabilitas untuk campuran pasir kali adalah 2,171 %, sedangkan untuk campuran pasir besi dengan

variasi 0 % adalah 2,056 %, untuk variasi 1% adalah 2,1936 %, variasi -1 % sebesar 2,211 %, variasi -0,5 % sebesar 1,898 % dan variasi 0,5 % sebesar 2,453 %.

Dari nilai Indeks Penurunan Stabilitas tersebut, selanjutnya dihitung dalam satuan kilogram. Besarnya nilai dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan Gambar 4.11 dibawah ini.



**Gambar 4.11.** Grafik hubungan variasi agregat halus terhadap indeks penurunan stabilitas (kg) pada campuran aspal dengan agregat halus pasir besi

Besarnya nilai Indeks Penurunan Stabilitas campuran aspal dengan agregat halus pasir besi, ternyata lebih tinggi pada variasi penambahan 0,5 % dan terendah pada penambahan -0,5%, sedangkan pada variasi yang lain, relatif sama Indeks Penurunan Stabilitasnya. Dengan demikian, melihat data-data parameter *Marshall* yang meliputi antara lain, stabilitas, *flow*, VIM, VMA, VFB dan *Marshall Quotient*, serta Indeks Penurunan Stabilitas dalam satuan kilogram maupun prosentase, kecenderungan yang terjadi adalah ada beberapa variabel yang kurang sesuai, hal ini sangat jelas terlihat pada besarnya nilai Indeks Penurunan Stabilitas dalam satuan kilogram yang acak dengan perbedaan yang relatif tinggi, seperti yang terlihat pada variasi penambahan 0,5 % dan -0,5 %. Hal ini disebabkan adanya penurunan stabilitas yang tinggi pada campuran dengan penambahan variasi 0,5 %, justru pada perendaman 3 jam sebesar 0,88 % sedangkan pada campuran aspal dengan penambahan variasi -0.5 pada kondisi yang sama hanya sebesar 0,61 %. Pada variasi penambahan agregat halus 0 %, 1 % dan -1 %, kecenderungan Indeks Penurunan Stabilitas cenderung

seragam, berkisar antara 33,9 kg untuk variasi 0 %, 34,6 kg dan 34,3 kg untuk variasi 1 % dan -1%. Variasi nilai Indeks Penurunan Stabilitas yang acak disebabkan variasi penambahan agregat halus pasir besi pada campuran aspal, relatif kecil dengan interval yang rapat. Sehingga alangkah baiknya pada penelitian lanjutan yang akan datang, disarankan menggunakan interval yang senjang dengan variasi penambahan yang panjang, bisa perlima persen atau persepuluh persen.

Dari seluruh hasil pengujian yang dilakukan pada campuran aspal panas HRA (*Hot Rolled Asphalt*) pada lapisan *wearing course*, baik dengan agregat halus pasir kali maupun pasir besi menunjukkan kondisi campuran memenuhi kriteria yang disyaratkan oleh SNI, *British Standard* maupun lembaga standar lain yang digunakan pada penelitian ini seperti AASHTO dalam batas karakteristik *Marshall* yang meliputi VIM, VFB, VMA, Stabilitas, *Flow*, *Marshall Quotient (MQ)* dan kepadatan campuran (Gmb). Selain itu penambahan volume agregat halus pasir besi sebesar 0,5 % memberikan nilai stabilitas yang lebih baik jika dibandingkan dengan campuran aspal tanpa penambahan volume agregat halus ataupun terhadap pengurangan dan penambahan variasi volume agregat halus pasir besi, sehingga dapat disimpulkan bahwa campuran aspal HRA untuk lapisan *wearing course* dengan agregat halus pasir besi dapat digunakan untuk lapisan perkerasan jalan raya khususnya daerah-daerah dengan sumber tambang pasir besi cukup melimpah dan tentunya akan lebih baik lagi, bila campuran aspal dengan agregat halus pasir besi dapat dikombinasikan dengan agregat halus jenis lain untuk dapat mengisi kesenjangan yang ada pada gradasi campuran agregat tersebut.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

1. Campuran aspal dengan agregat halus pasir kali, ternyata mempunyai kadar aspal optimum lebih rendah bila dibandingkan dengan campuran aspal dengan agregat halus pasir besi. Kadar aspal optimum pada campuran aspal dengan agregat pasir kali sebesar 5,7857 %, sedangkan campuran dengan agregat halus pasir besi berkadar aspal optimum 6,833 %, hal ini menunjukkan bahwa campuran aspal dengan agregat halus pasir besi cenderung menyerap aspal lebih banyak dari pada campuran aspal dengan agregat halus pasir kali.
2. Nilai stabilitas pada campuran aspal dengan agregat halus pasir kali lebih tinggi dengan nilai *flow* yang rendah jika dibandingkan dengan campuran aspal dengan agregat halus pasir besi, yang mempunyai nilai stabilitas yang tinggi dengan nilai *flow* yang tinggi pula. Hal menunjukkan bahwa gaya gesek (*internal friction*) antar agregat pada campuran aspal dengan agregat halus pasir besi lebih rendah yang disebabkan oleh distribusi gradasi agregat halus pasir besi yang cenderung lebih banyak berbutir halus. menyebabkan terjadinya media gelincir sehingga mengurangi nilai stabilitas. Nilai *flow* yang lebih rendah pada campuran aspal dengan agregat halus pasir besi, disebabkan oleh nilai absorpsi pasir besi yang besar sehingga aspal yang terserap menjadi lebih banyak dan ikatan kohesi antara agregat dengan aspal lebih banyak terjadi pada butiran halus dengan aspal. Hal ini terlihat pada hasil pengujian nilai penyerapan air oleh pasir besi lebih tinggi yaitu 2,146 % sedangkan pasir kali 1,01 % dan nilai penyerapan aspal pada campuran aspal dengan agregat halus pasir besi adalah sebesar 0,831 % sedangkan pada campuran aspal dengan agregat halus pasir kali diperoleh nilai 0,608 %
3. Nilai stabilitas dan nilai *Marshall Quotient* campuran dengan variasi 0,5 % lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa penambahan agregat halus pasir maupun terhadap variasi penambahan agregat halus lainnya yaitu berturut-turut -0,5 %; +1 %; -1 %;
4. Nilai stabilitas akan semakin menurun seiring dengan lamanya perendaman yang dilakukan. Pada variasi agregat halus pasir besi 0 % penurunan stabilitas pada

perendaman 24 jam adalah 77.78 %, untuk variasi 1 % penurunannya sebesar 77,52 %, untuk variasi -1 %, penurunannya sebesar 76,4%, untuk variasi 0,5 % penurunannya sebesar 77,94% dan untuk variasi -0,5%, penurunannya sebesar 79, 23 %.

5. Pengaruh perendaman dengan waktu yang lama (perendaman  $\pm$  48 jam) dengan suhu yang tinggi  $\pm$  60 °C, akan berakibat campuran HRA mengalami penurunan stabilitas dan naiknya nilai *flow*. Hal ini disebabkan karena dalam proses perendaman terjadi tegangan (karena adanya tekanan air), dimana air akan masuk kedalam pori-pori campuran aspal, sehingga mampu mempengaruhi sifat adhesi dan kohesi aspal, juga oleh melelehnya aspal yang bersifat termoplastik sehingga campuran HRA akan mengalami perlemahan. Hal tersebut semakin nampak pada campuran aspal dengan agregat halus pasir besi.
6. Indeks Penurunan Stabilitas campuran tanpa variasi tambahan dengan variasi agregat halus -1 % dan +1 % menunjukkan besaran yang relatif hampir sama yang berkisar 33,9 kg hingga 34,6 kg, namun hal yang sangat menarik adalah perbedaan nilai Indeks Penurunan Stabilitas pada campuran dengan tambahan variasi 0,5 % dan -0,5 % justru sangat besar yaitu dengan nilai Indeks Penuruann Stabilitas 40,75 kg dan 30,13 kg. Hal ini disebabkan rentang variasi penambahan agregat halus yang terlalu kecil dan interval yang kecil pula, sehingga menyebabkan nilai Indeks Penurunan Stabilitas lebih bersifat tak beraturan.
7. Dengan melihat hasil pengujian berdasarkan parameter *Marshall*, seperti VIM, VMA, VFB, stabilitas, *flow*, campuran aspal HRA untuk lapisan *wearing course* dengan agregat halus besi berpotensi untuk digunakan sebagai bahan alternatif agregat halus dalam campuran aspal khususnya pada daerah-daerah dengan sumber tambang pasir besi cukup melimpah.

## 5.2.Saran

Penggunaan pasir besi sebagai agregat halus pada campuran aspal HRA di lapangan relatif sedikit, hal ini disebabkan keberadaannya tidak disetiap tempat ada. Namun demikian tidak menutup kemungkinan untuk diterapkan dalam pemakaian di lapangan, sehingga masih banyak variabel yang dapat diteliti menyangkut penggunaan pasir besi sebagai bahan alternatif didalam jenis lapis perkerasan yang

lain, serta karakteristik parameter yang lain, seperti seperti ketebalan suhu (*film thickness*), pengaruh suhu, pemadatan dan lain sebagainya

Pada penelitian lanjutan, perlu dipikirkan untuk membuat variasi agregat halus pasir besi yang lebih panjang rentang dan intervalnya serta akan lebih baik lagi bila campuran aspal dengan agregat halus pasir besi tersebut, dapat dikombinasikan dengan agregat halus jenis lain yang dapat mengisi kesenjangan yang ada pada gradasi campuran agregat tersebut, sehingga memperbaiki nilai kekuatan dari campuran aspal.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

1. Campuran aspal dengan agregat halus pasir kali, ternyata mempunyai kadar aspal optimum lebih rendah bila dibandingkan dengan campuran aspal dengan agregat halus pasir besi. Kadar aspal optimum pada campuran aspal dengan agregat pasir kali sebesar 5,7857 %, sedangkan campuran dengan agregat halus pasir besi berkadar aspal optimum 6,833 %, hal ini menunjukkan bahwa campuran aspal dengan agregat halus pasir besi cenderung menyerap aspal lebih banyak dari pada campuran aspal dengan agregat halus pasir kali.
2. Nilai stabilitas pada campuran aspal dengan agregat halus pasir kali lebih tinggi dengan nilai *flow* yang rendah jika dibandingkan dengan campuran aspal dengan agregat halus pasir besi, yang mempunyai nilai stabilitas yang tinggi dengan nilai *flow* yang tinggi pula. Hal menunjukkan bahwa gaya gesek (*internal friction*) antar agregat pada campuran aspal dengan agregat halus pasir besi lebih rendah yang disebabkan oleh distribusi gradasi agregat halus pasir besi yang cenderung lebih banyak berbutir halus. menyebabkan terjadinya media gelincir sehingga mengurangi nilai stabilitas. Nilai *flow* yang lebih rendah pada campuran aspal dengan agregat halus pasir besi, disebabkan oleh nilai absorpsi pasir besi yang besar sehingga aspal yang terserap menjadi lebih banyak dan ikatan kohesi antara agregat dengan aspal lebih banyak terjadi pada butiran halus dengan aspal. Hal ini terlihat pada hasil pengujian nilai penyerapan air oleh pasir besi lebih tinggi yaitu 2,146 % sedangkan pasir kali 1,01 % dan nilai penyerapan aspal pada campuran aspal dengan agregat halus pasir besi adalah sebesar 0,831 % sedangkan pada campuran aspal dengan agregat halus pasir kali diperoleh nilai 0,608 %
3. Nilai stabilitas dan nilai *Marshall Quotient* campuran dengan variasi 0,5 % lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa penambahan agregat halus pasir maupun terhadap variasi penambahan agregat halus lainnya yaitu berturut-turut -0,5 %; +1 %; -1 %;
4. Nilai stabilitas akan semakin menurun seiring dengan lamanya perendaman yang dilakukan. Pada variasi agregat halus pasir besi 0 % penurunan stabilitas pada



perendaman 24 jam adalah 77.78 %, untuk variasi 1 % penurunannya sebesar 77,52 %, untuk variasi -1 %, penurunannya sebesar 76,4%, untuk variasi 0,5 % penurunannya sebesar 77,94% dan untuk variasi -0,5%, penurunannya sebesar 79, 23 %.

5. Pengaruh perendaman dengan waktu yang lama (perendaman  $\pm$  48 jam) dengan suhu yang tinggi  $\pm$  60 °C, akan berakibat campuran HRA mengalami penurunan stabilitas dan naiknya nilai *flow*. Hal ini disebabkan karena dalam proses perendaman terjadi tegangan (karena adanya tekanan air), dimana air akan masuk kedalam pori-pori campuran aspal, sehingga mampu mempengaruhi sifat adhesi dan kohesi aspal, juga oleh melelehnya aspal yang bersifat termoplastik sehingga campuran HRA akan mengalami perlemahan. Hal tersebut semakin nampak pada campuran aspal dengan agregat halus pasir besi.
6. Indeks Penurunan Stabilitas campuran tanpa variasi tambahan dengan variasi agregat halus -1 % dan +1 % menunjukkan besaran yang relatif hampir sama yang berkisar 33,9 kg hingga 34,6 kg, namun hal yang sangat menarik adalah perbedaan nilai Indeks Penurunan Stabilitas pada campuran dengan tambahan variasi 0,5 % dan -0,5 % justru sangat besar yaitu dengan nilai Indeks Penurunan Stabilitas 40,75 kg dan 30,13 kg. Hal ini disebabkan rentang variasi penambahan agregat halus yang terlalu kecil dan interval yang kecil pula, sehingga menyebabkan nilai Indeks Penurunan Stabilitas lebih bersifat tak beraturan.
7. Dengan melihat hasil pengujian berdasarkan parameter *Marshall*, seperti VIM, VMA, VFB, stabilitas, *flow*, campuran aspal HRA untuk lapisan *wearing course* dengan agregat halus besi berpotensi untuk digunakan sebagai bahan alternatif agregat halus dalam campuran aspal khususnya pada daerah-daerah dengan sumber tambang pasir besi cukup melimpah.

## 5.2.Saran

Penggunaan pasir besi sebagai agregat halus pada campuran aspal HRA di lapangan relatif sedikit, hal ini disebabkan keberadaannya tidak disetiap tempat ada. Namun demikian tidak menutup kemungkinan untuk diterapkan dalam pemakaian di lapangan, sehingga masih banyak variabel yang dapat diteliti menyangkut penggunaan pasir besi sebagai bahan alternatif didalam jenis lapis perkerasan yang

lain, serta karakteristik parameter yang lain, seperti seperti ketebalan suhu (*film thickness*), pengaruh suhu, pemadatan dan lain sebagainya

Pada penelitian lanjutan, perlu dipikirkan untuk membuat variasi agregat halus pasir besi yang lebih panjang rentang dan intervalnya serta akan lebih baik lagi bila campuran aspal dengan agregat halus pasir besi tersebut, dapat dikombinasikan dengan agregat halus jenis lain yang dapat mengisi kesenjangan yang ada pada gradasi campuran agregat tersebut, sehingga memperbaiki nilai kekuatan dari campuran aspal.

## DAFTAR PUSTAKA

- the American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO (1975), *Standard specification for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing*, Washington DC.
- Agus Taufik Mulyano, (1996), "Pengaruh Variasi Jenis Dan Kadar Filler Terhadap Stabilitas, Fleksibilitas Dan Tingkat Durabilitas HRS (Hot Rolled Sheet) Kelas B", Media Teknik No. 3 Tahun XVII Edisi November 1996, UGM, Yogyakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, (1993), *Spesifikasi Teknik, Proyek Perencanaan dan Pengawasan Tekn Peningkatkan Jalan Nasional (P3TN)*, Direktorat Jendral Bina Marga, Jakarta.
- ANTAM (2001), <http://www.antam.com/Images.htm>
- Amethyst galleries, (1999), *The Spinel Group of Minerals*, <http://mineral.galleries.com/default.htm>
- Bagus Priyatno, (1999), *Perancangan Prasarana Jalan*, Dalam Penataran dan Pelatihan Dosen Teknik Sipil Perguruan Tinggi Swasta Koperties Wilayah VI, Semarang.
- Bagus Priyatno (2001), *Perkembangan Teknologi Perkerasan Jalan*, Pusat Pengembangan Perguruan Tinggi Swasta Kopertis Wilayah VI Jawa Tengah, Semarang.
- British Standart, BS (1992), BS 594 Part 1 & 2 *Hot Rolled Asphalt for Roads and Other Paved Areas*, British Standart Institution, London.
- Central Quality Control and Monitoring Unit (CQCMU) (1998), *Aspal Campuran Panas dengan Durabilitas Tinggi*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- DEPTAMBEN (1992, 1995), *Buku Tahunan Pertambangan Dan Energi Indonesia 1992, 1995*, Departemen Pertambangan Dan Energi, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, DPU, (2000), *Dessiminasi Spesifikasi Baru*, Puslitbang Bandung
- Gunawan Suryo (2001), "Nilai Kuat Tekan Beton Pasir Besi dibanding Beton Pasir Kali dengan Variasi Campuran dan Variasi Faktor Air Semen", Skripsi UNS, Surakarta.
- Harold N. Atkinson, PE (1997), *Highway Materials, Soils, and Concretes*, Practice Hall, Columbus, Ohio, USA.
- Hermawan A Basuki dan Raya Hutagaol (1996), "Pemanfaatan Bottom-Ash dalam Campuran Hot Rolled Asphalt", Skripsi ITB, Bandung.
- Hunter R N, (1994), *Bituminous Mixtures ini Road Construction*, Thomas Telford Services Ltd, London.
- Junaidi, (1998), "Pengaruh Variasi Kandungan Roadcel 50 Terhadap Sifat Marshall Dan Durabilitas Campuran Butonite Mastic Asphalt (BMA)", disampaikan dalam simposium I Forum Studi Transportasi Perguruan Tinggi, ITB, Bandung.
- Krebs RD, Richard D. Walker (1971) *Highway Materials*, McGraw-Hill Inc, USA.
- Kardiyono Tjokrodimuljo, (1996), *Teknologi Beton*, Nafiri, Yogyakarta.
- M. Jazir Alkas (2001), "Kinerja Campuran Hot Rolled Asphalt dengan Variasi Filler yang di padatkan dengan Gyrtory Testing Mechine", Tesis STJR ITB, Bandung.
- Purawiardi dan Rustiadi, (1992), "Karakteristik Bijih Besi dari Pasir Besi Titan Yogyakarta", Balai Besar penelitian Dan Pengembangan Industri Bahan Dan Barang Teknik, Departemen Peridustrian Dan Perdagangan, [www.Pusdataonlineindonesia.com](http://www.Pusdataonlineindonesia.com).

- Shell Bitumen (1990), *The Shell Bitumen Handbook*, Published by Shell Bitumen, UK.
- Siswosoebrotho, BI (2001), "*Kajian Laboratorium Penggunaan Material Vulkanik (Kasus Pasir Galunggung) dalam Campuran Beraspal*", seminar simposium ke-4 FSTPT Bali.
- Silvia Sukirman (1991), *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Penerbit Nova, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, (1989, 1990), SNI, *Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Lataston) untuk Jalan Raya*, Jakarta.
- Suprpto Totomihardjo, (1995), *Bahan Struktur Jalan Raya*, Biro Penerbit, Yogyakarta
- The Asphalt Institute, (1981), *Thickness Design Asphalt Pavement for Highway and Streets*, Manual Series No.1 (MS-1), 9<sup>th</sup> edition.
- The Asphalt Institute, (1995), *Mix Design Method for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types*, Manual Series No. 2 (MS-2), 6<sup>th</sup> edition.
- Yolly Detra. A.(2001), "*Karakteristik Aspal dengan Bahan Tambah Plastik dan Kinerjanya dalam Campuran HRA*", Tesis STJR ITB, Bandung.